



电工电子名家畅销书系

图解

电工基础

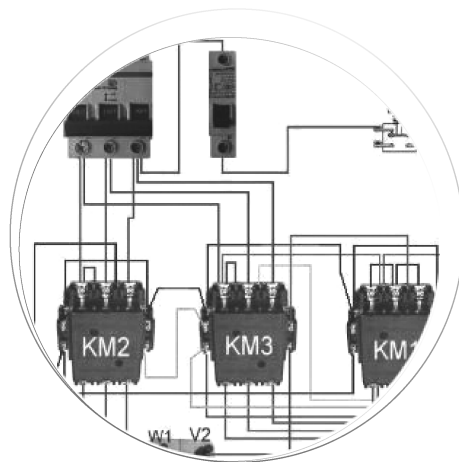
郎永强 孙希强 等编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

电工电子名家畅销书系

图解



电工基础

郎永强 孙希强 等编著



机械工业出版社

千言万语往往不及一幅图生动易懂，本书除了严格按照国家标准和电气行业标准编写之外，坚持图文并茂的图解方式，详尽介绍了电工应知应会的电工操作技术。全书内容包括图解基础知识、牢记速算公式，图解工具使用、巧学仪表测量，照明设备安装、线路连接工艺，低压电器设备安装与使用技能，变压器安装技能，电动机安装、使用与维护技术，电力电子元器件与设备，电气故障维修技术，电气安全知识等。

本书适合初级农村电工、工厂电工、安装电工、维修电工自学阅读，另外参加电工技术培训和农民工电气技能培训、希望考取电工上岗证的技术工人也可以参阅本书。

图书在版编目（CIP）数据

图解电工基础/郎永强等编著. —北京：机械工业出版社，2015.4
（电工电子名家畅销书系）
ISBN 978-7-111-49617-5

I. ①图… II. ①郎… III. ①电工技术—图解 IV. ①TM-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 048511 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
策划编辑：付承桂 责任编辑：张沪光 责任校对：张 征
封面设计：路恩中 责任印制：乔 宇
北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）
2015 年 5 月第 1 版第 1 次印刷
184mm × 260mm · 14.5 印张 · 326 千字
0 001—4 000 册
标准书号：ISBN 978-7-111-49617-5
定价：39.90 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：010-88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：010-68326294

机工官博：weibo.com/cmp1952

010-88379203

金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com

出版说明

我国经济与科技的飞速发展，国家战略性新兴产业的稳步推进，对我国科技的创新发展和人才素质提出了更高的要求。同时，我国目前正处在工业转型升级的重要战略机遇期，推进我国工业转型升级，促进工业化与信息化的深度融合，是我们应对国际金融危机、确保工业经济平稳较快发展的重要措施，而这同样对我们的人才素质与数量提出了更高的要求。

目前，人们日常生产生活的电气化、自动化、信息化程度越来越高，电工电子技术正广泛而深入地渗透到经济社会的各个行业，促进了众多的人口就业。但不可否认的客观现实是，很多初入行业的电工电子技术人员，基础知识相对薄弱，实践经验不够丰富，操作技能有待提高。党的十八大报告中明确提出“加强职业技能培训，提升劳动者就业创业能力，增强就业稳定性”。人力资源和社会保障部近期的统计监测却表明，目前我国很多地方的技术工人都处于严重短缺的状态，其中仅制造业高级技工的人才缺口就高达 400 多万人。

秉承机械工业出版社“服务国家经济社会和科技全面进步”的出版宗旨，60 多年来我们在电工电子技术领域积累了大量的优秀作者资源，出版了大量的优秀畅销图书，受到广大读者的一致认可与欢迎。本着“提技能、促就业、惠民生”的出版理念，经过与领域内知名的优秀作者充分研讨，我们打造了“电工电子名家畅销书系”，涉及内容包括电工电子基础知识、电工技能入门与提高、电子技术入门与提高、自动化技术入门与提高、常用仪器仪表的使用以及家电维修实用技能等。

整合了强大的策划团队与作者团队资源，本丛书特色鲜明：①涵盖了电工、电子、家电、自动化入门等细分方向，适合多行业多领域的电工电子技术人员学习；②作者精挑细选，所有作者都是行业名家，编写的都是其最擅长的领域方向图书；③内容注重实用，讲解清晰透彻，表现形式丰富新颖；④以就业为导向，以技能为目标，很多内容都是作者多年亲身实践的看家本领；⑤由资深策划团队精心打磨并集中出版，通过多种方式宣传推广，便于读者及时了解图书信息，方便读者选购。

本丛书的出版得益于业内最顶尖的优秀作者的大力支持，大家经常为了图书的内容、表达等反复深入地沟通，并系统地查阅了大量的最新资料 and 标准，更新制作了大量的操作现场实景素材，在此也对各位电工电子名家的辛勤的劳动付出和卓有成效的工作表示感谢。同时，我们衷心希望本丛书的出版，能为广大电工电子技术领域的读者学习知识、开

阔视野、提高技能、促进就业，提供切实有益的帮助。

作为电工电子图书出版领域的领跑者，我们深知对社会、对读者的重大责任，所以我们一直在努力。同时，我们衷心欢迎广大读者提出您的宝贵意见和建议，及时与我们联系沟通，以便为大家提供更多高品质的好书，联系信箱为 fuchenggui52@163.com。

机械工业出版社

前 言

众所周知，图画一般具有直观明了、生动易懂的特点，用图讲解电工知识，往往能够收到易学易懂、事半功倍的好效果。而本书就是充分利用图的优点详细介绍电工应知应会的基础知识及操作技能的，目的是为了帮助广大电气工作者更快地提升个人技术，更好地胜任自己的工作。

本书编著的内容实用详尽、可操作性强，都是电工必须掌握的基本知识及操作技术。书中的这些基础技能在实际工作中往往会经常用到，初级电工读完本书即能上岗操作，因此书中内容与实践工作有着密切联系，学习掌握这些基础知识，是进一步学习更高技能的基石。

本书主要由郎永强和孙希强编写。其中，第1~6章由孙希强编写，第7~9章由郎永强编写，另外，丛湘亮、高鹏、史波、公维明、马国栋、赵波、冯全、陈刚、张国强也参加了本书的部分编写工作。

本书适合初级农村电工、工厂电工、安装电工、维修电工自学阅读，另外参加电工技术培训和农民工电气技能培训、希望考取电工上岗证的技术工人也可以参阅本书。

目 录

出版说明

前言

第 1 章 图解基础知识 牢记速算公式	1
1.1 常用电气名词术语	1
1.2 常用电气图形符号	5
1.3 常用电气文字符号	7
1.4 常用电气基本定律	11
1.5 电工常用速算公式	13
第 2 章 图解工具使用 巧学仪表测量	23
2.1 电工随身工器具的使用	23
2.2 设备安装工具的使用	29
2.3 安全工器具的使用	32
2.4 常用电工测量仪表的使用	37
第 3 章 照明设备安装 线路连接工艺	57
3.1 常用电气照明设备安装技巧	57
3.2 照明开关	61
3.3 插座	63
3.4 照明线路的连接工艺	67
第 4 章 低压电器设备安装与使用技能	84
4.1 熔断器	84
4.2 低压开关	88
4.3 断路器	92
4.4 交流接触器	93
4.5 继电器	97
4.6 漏电保护器	99
第 5 章 变压器安装技能	104
5.1 变压器在电力系统中的作用	104
5.2 变压器的工作原理	104
5.3 变压器的联结组标号	106
5.4 变压器的结构	107

5.5	正确选择变压器的容量	112
5.6	正确选择变压器高、低压侧熔丝容量	113
5.7	变压器的户外安装	114
5.8	变压器的户内安装	118
5.9	变压器的投运及停运操作程序	124
5.10	变压器的运行维护	125
5.11	变压器的日常维护	126
第6章	电动机安装、使用与维护技术	128
6.1	电动机的基本结构	128
6.2	正确选择电动机	132
6.3	电动机的安装和接线	136
6.4	电动机的起动试运行	147
6.5	电动机运行中的监视	149
6.6	电动机的定期检查保养	150
6.7	电动机的常见故障排除	151
第7章	电力电子元器件与设备	157
7.1	二极管	157
7.2	晶体管	161
7.3	晶闸管	164
7.4	光耦合器	169
7.5	数码管	171
7.6	逻辑门电路	173
第8章	电气故障维修技术	176
8.1	电气故障的查找方法及步骤	176
8.2	常见电源故障的检修	178
8.3	电路故障的检修	182
8.4	常用低压电器的故障检修	190
8.5	常用电动工具的故障检修	198
第9章	电气安全知识	202
9.1	保证电工安全的措施	202
9.2	电气防火防爆措施	208
9.3	漏电接地保护	214
9.4	触电急救	215

图解基础知识 牢记速算公式

1.1 常用电气名词术语

(1) **电荷** 电荷是物质的一种固有属性。我们把组成物质的无数带电微粒（如质子、电子）称为电荷。电荷有两种：一种叫正电荷，另外一种叫负电荷。并且在电荷之间存在着相互作用力，同性电荷相互排斥、异性电荷相互吸引（见图 1-1）。在正常条件下，任何一个物体所带的正电荷与负电荷均相等，呈中性。但如果由于某种原因（如摩擦、电磁作用等），使负电荷多于或少于正电荷，因而这个物体便带负电或正电。这种有电荷存在和电荷变化的现象，就是我们日常说的“电”。

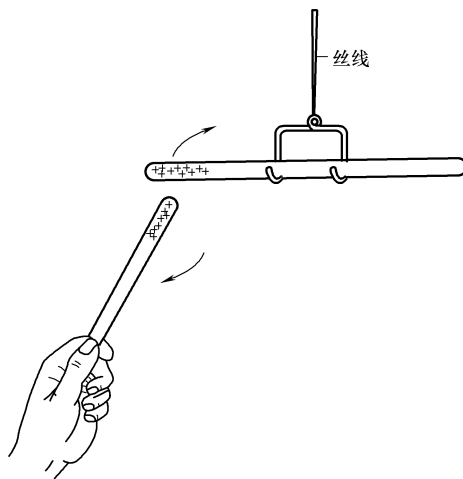


图 1-1 两根摩擦带电的玻璃棒相互排斥

(2) **电流** 电荷在电场力作用下的有序运动形成电流（见图 1-2），衡量电流大小的量是电流强度，简称电流。其量值为单位时间内通过电路某一导体横截面的电荷量。用符号 I 表示，单位为 A（安培）。

(3) **电压** 电路中两点之间的电位差称为电压。用符号 U 表示，单位为 V（伏特）。

(4) **电动势** 单位正电荷由低电位移向高电位时非静电力对它所做的功称为电动势。用符号 E 表示，单位是 V（伏特）。

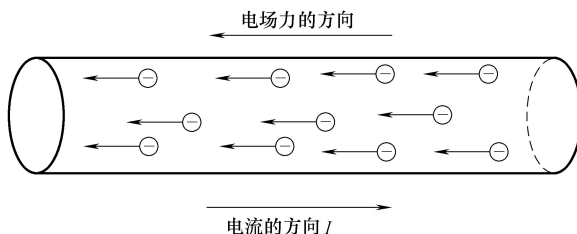


图 1-2 电荷在电场力的作用下有序运动形成电流

(5) **电阻** 当把不同的负载接到电源上去的时候，负载中通过的电流大小是不相同的。例如，在一根铜棒的两端和一根铁棒的两端加上同样的

电压，在两根棒中的电流将会相差很大，这是因为不同材料对于电流具有不同的阻力的缘故。我们通常把加在导体两端的电压和通过导体的电流的比值叫作电阻。电阻是阻碍电流

通过的能力，用字母 R 或 r 表示，单位是欧姆 (Ω)。

(6) **电阻率** 是衡量物质导电性能好坏的一个物理量，用字母 ρ 表示，单位为 $\Omega \cdot \text{m}$ 。在数值上等于长 1m 截面积为 1m^2 的导线，在温度 20°C 时的电阻值，电阻率越大，导电性能越低。

(7) **电阻的温度系数** 表示物质的电阻率随温度而变化的物理量，其数值等于温度每升高 1°C 时，电阻率的变化量与原来电阻率的比值，通常以字母 α 表示，单位为 $1/^\circ\text{C}$ 。

(8) **电导** 物体传导电流的本领叫作电导。在直流电路里，电导的数值就是电阻值的倒数，以字母 G 表示，单位为 S (西门子)。

(9) **电导率** 也是衡量物质导电性能好坏的一个物理量。大小在数值上是电阻率的倒数，以字母 γ 表示，单位为 S/m (西/米)。

(10) **自感** 当闭合回路中的电流发生变化时，那么由这变化电流所产生、穿过回路本身磁通也会发生变化，因此在回路中也会感应电动势，这种现象称为自感现象，这种感应电动势叫自感电动势。穿过回路所包围面积的磁通与产生此磁通的电流之间的比例系数，叫作回路的自感系数，简称自感。其数值等于单位时间内，电流变化一个单位时由于自感而引起的电动势，用字母 L 表示，单位为 H (亨利)。

(11) **互感** 两只相邻线圈，当任一线圈中的电流发生变化时，则在另一只线圈中产生感生电动势，这种电磁感应现象叫互感。由此产生的感生电动势称为互感电动势。用字母 M 表示，单位为 H 。

(12) **电感** 自感与互感的统称。

(13) **电容** 凡是用绝缘介质隔开的两个导体就构成了一个电容器。两个极板在单位电压作用下每一极板上所储存的电荷量叫作该电容器的电容，用字母 C 表示，单位为 F (法拉)。

(14) **感抗** 交流电流过具有电感的电路时，电感有阻碍交流电流过的作用，这种作用称为感抗，用 X_L 表示，单位为 Ω 。

(15) **容抗** 交流电流过具有电容的电路时，电容有阻碍交流电流过的作用，这种作用称为容抗，用 X_C 表示，单位为 Ω 。

(16) **阻抗** 交流电流过具有电阻、电感、电容的电路时，它们阻碍交流电流过的作用，这种作用称为阻抗，用字母 Z 表示，单位为 Ω 。

(17) **直流电** 大小和方向不随时间变化的电流称为直流电。

(18) **交流电** 大小和方向随时间周期性变化的电流称为交流电。

(19) **正弦交流电** 随时间按正弦规律变化的交流电流称为正弦交流电。

(20) **非正弦交流电** 随时间不按正弦规律变化的交流电流称为非正弦交流电。

(21) **脉动直流电** 大小随时间变化而方向不变的电流称为脉动直流电。

(22) **频率** 交流电流 1s 内电流方向改变的次数称为频率，用字母 f 表示，单位为 Hz (赫兹)。

(23) **周期** 交流电每变化一周所需的时间称为周期，用字母 T 表示，单位为 s (秒)。

(24) **瞬时值** 交流电在任一瞬间的值称为瞬时值,用小写字母表示,如 i 、 u 、 e 分别表示电流、电压及电动势的瞬时值。

(25) **最大值** 瞬时值中的最大幅值称为最大值,用带下标 m 的大写字母表示,如 I_m 、 U_m 、 E_m 分别表示电流、电压及电动势的最大值。

(26) **有效值** 如某一交流电通过某一电阻经过一定时间所产生的热量,等于某一直流电通过同一电阻在同一时间所产生的热量,则该直流电的数值即称为交流电的有效值,即交流电的有效值就是与它的热效应相当的直流值。用大写字母 I 、 U 、 E 分别表示电流、电压及电动势的有效值。

(27) **平均值** 交流电的平均值是指某段时间内流过电路的总电荷与该段时间的比值。正弦交流电的平均值通常指正半周内的平均值。

(28) **电能 [量]** 电流所做的功叫电能,用符号 W 表示,单位为 J (焦耳) 和 $kW \cdot h$ (千瓦·时)。

(29) **电功率** 单位时间 (1s) 电流所做的功叫作电功率,用符号 P 表示,单位为 W 或 kW 。

(30) **瞬时功率** 交流电路中任一瞬间的功率称为瞬时功率,用符号 p_t 表示,单位为 W 或 kW 。

(31) **有功功率** 正弦交流电路的瞬时功率在一个周期内的平均值,称为有功功率,用字母 p_a 表示,单位为 W 或 kW 。

(32) **视在功率** 电流 I 和电压 U 的有效值的乘积称为视在功率,用字母 S 或 P_s 表示,单位为 $V \cdot A$ 或 $kV \cdot A$ 。

(33) **无功功率** 具有电感或电容的电路中,在半周期的时间里,电源的能量变成磁场 (或电场) 的能量储存起来,而在另半周期的时间里,又把储存在磁场 (或电场) 的能量释放出来送还电源。它只与电源进行能量交换而没有消耗能量。与电源交换能量的速率的振幅值叫作无功功率,用字母 Q 或 P_r 表示,单位为 var (乏) 或 $kvar$ (千乏)。

(34) **功率因数** 有功功率与视在功率的比值称为功率因数 $\cos\varphi$ 。

(35) **效率** 能量在转换或传递的过程中总要消耗一部分,即输出小于输入,输出能量与输入能量的比值叫作效率,用字母 η 表示。

(36) **相电压** 三相电路中,相线与中性线之间的电压称为相电压。

(37) **线电压** 三相电路中,相线与相线之间的电压称为线电压。

(38) **相电流** 三相电路中,流过每相上的电流称为相电流。

(39) **线电流** 三相电路中,三根端线中的电流称为线电流。

(40) **相位** 表示自正弦量零点开始经历了多少角度,它反映了正弦量的变化进程。

(41) **相量** 用来表示正弦量大小和相位的矢量。

(42) **磁场** 处在磁铁或载流导体周围空间的其他磁性物质或载流导体将受到磁场力的作用。即说明在磁铁或载流导体周围的空间存在着磁场。

(43) **磁通密度 (磁感应强度)** 表示磁场大小与方向的基本物理量,它的方向即是磁场的方向。当正电荷在磁场中运动,其运动方向与磁场方向垂直时,则单位正电荷以单

位速度运动时所受到的磁场作用力，即为磁感应强度的大小。用字母 B 表示，单位为 T（特斯拉）。

(44) **磁通** 磁感应强度与垂直于磁场方向的面积的乘积称为磁通。用字母 Φ 表示，单位为 Wb（韦伯）。

(45) **磁场强度** 表示磁场大小与方向的物理量。磁场强度的闭合线积分等于该闭合线所包围的宏观传导电流的代数和，与导磁场物质无关。用字母 H 表示，单位为 A/m。

(46) **磁阻** 磁路对磁通所起的阻碍作用，用字母 R_m ，单位为 $1/H$ （1/亨）。

(47) **磁导率** 衡量物质导磁性能的一个系数，用字母 μ 表示，单位为 H/m。

(48) **相对磁导率** 任一物质的磁导率 μ 与真空磁导率 μ_0 之比值称为相对磁导率，用符号 μ_r 表示。

(49) **电磁力** 载流导体在外磁场中将受到力的作用，这种力称为电磁力。用字母 F 表示，单位为 N（牛顿）。

(50) **磁滞** 铁磁体在反复磁化的过程中，其磁感应强度的变化总是滞后于磁场强度的变化，这种现象称为磁滞。

(51) **涡流** 处在变化磁场中的导电物质内部将产生感应电流，以反抗磁通的变化，这种感生电流称为涡流。

(52) **剩磁** 处在磁场中的铁磁物质当移去磁场后，仍会保持一定的磁性称为剩磁。

(53) **电场** 把电荷（或带电体）引入其他带电体周围的空间时，将会受到力的作用，就是说在带电体周围存在电场。

(54) **电场强度** 表示电场强弱的物理量。数值上等于单位正电荷在该点处所受的作用力，方向是正电荷受力的方向。用字母 E 表示，单位为 V/m。

(55) **击穿** 电介质在电场的作用下发生剧烈放电或导电的现象叫击穿。

(56) **绝缘强度** 又称击穿电场强度。电介质不被击穿所能承受的极限电场强度。

(57) **导体** 内部的带电质点能够自由移动的物体称为导体。

(58) **半导体** 导电性能介于导体与绝缘体之间的物体称为半导体，如硅、锗等。

(59) **绝缘体** 又称电介质。电导率很小的物体称为绝缘体，如玻璃、云母等。

(60) **电流的热效应** 当电流通过导体时将由于导体电阻而产生功率损耗并转换成热能，这种效应称为电流的热效应，如电炉就是利用了这一原理。

(61) **电流的磁效应** 电流在其周围的空间产生磁场，当载流导体处于该磁场中时，将受到力的作用，这种效应称为电流的磁效应。如电动机、电磁测量仪表等都利用了这一原理。

(62) **电流的化学效应** 电流通过盐类、碱类和酸类的溶液，使其分解而将电能转换成化学能或其他形式的能量，这种作用称为电流的化学效应。如电镀就是利用了这一原理。

(63) **静电感应** 导体在附近电荷的作用下感应带电，靠近电荷的一端感生出与电荷符号相反的电荷，另一端感生出与电荷符号相同的电荷，正负电荷的数量相同，这种现象称为静电感应。工业上的静电植绒和静电电压发生器等都是利用了这一原理。

(64) **电磁感应** 当环链着一导体的磁通发生变化时，导体内就会产生电动势，这种现象称电磁感应，电磁感应产生的电动势叫作感应电动势。变压器就是利用电磁感应的原理制成的。

(65) **热电效应** 将两根不同的金属导线的两端分别连接起来，形成一闭合回路。若在其一端加热，另一端冷却，闭合回路中将产生电流。此外，在一段均匀导体上如有很高的温差存在时，导线两端会有电动势出现，这种现象称为热电效应。工业上测高温用的热电式仪表就是利用这一原理制成的。

(66) **光电效应** 光线被物质吸收而产生电的效应称为光电效应。工业上的太阳能电池、光电管等都是利用了这一原理。

(67) **压电效应** 对石英、酒石酸钾钠等晶体的表面施加压力，在两受力面上将产生异性电荷，形成电位差，反之这些晶体处于交变的电场内将产生振动，这种现象叫压电效应。工业上如压电效应型超声波发生器、晶体相声器等就是应用压电效应这一原理制成的。

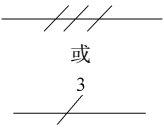
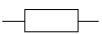
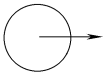
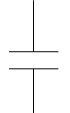
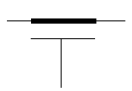
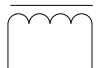
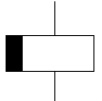
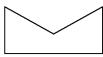
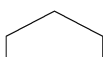
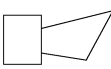
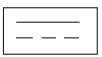
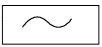
1.2 常用电气图形符号

常用电气图形符号见表 1-1。

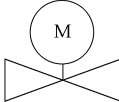
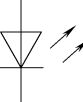
表 1-1 常用电气图形符号

名称	图形符号	名称	图形符号
直流电		变压器	
交流电		直流/交流变换器	
交直流通用		测试电压	
正极、正号	+	危险电压	
负极、负号	-	接地	
电路、传输通路(如微波技术)、线路等		保护接地	

(续)

名称	图形符号	名称	图形符号
三根导线		接机壳、接机架	
电阻器一般符号		信号低端	
熔断器		输出	
电容器一般符号		输入	
穿心电容器 旁路电容器		过电压保护装置	
电感器,线圈, 绕组,扼流圈		通/断(按一下)	
带磁心的电感器		通/断(按钮)	
缓慢释放继电器的线圈		调到最小	
缓慢吸合继电器的线圈		调到最大	
屏、台、箱、柜一般符号		信号灯、照明灯、照明设备	
照明配电箱		电喇叭(报警用)	
事故照明配电箱(屏)		耳机	
直流配电盘		通风机(鼓风机、风扇等)	
交流配电盘(屏)			

(续)

名称	图形符号	名称	图形符号
阀的一般符号		二极管	
电动阀		发光二极管一般符号	
按钮一般符号		热敏二极管	

1.3 常用电气文字符号

1. 常用电气设备基本文字符号（见表 1-2）

表 1-2 常用电气设备基本文字符号

设备、装置和元 器件种类	名 称	基本文字符号	
		单字母	双字母
组件、部件	电桥	A	AB
	晶体管放大器		AD
	集成电路放大器		AJ
	磁放大器		AM
	电子管放大器		AV
	印制电路板		AP
	抽屉柜		AT
	支架盘		AR
变换器	速度变换器	B	BV
电容器	电容器	C	
保护器件	过电压放电器件(避雷器)	F	
	具有瞬时动作的限流保护器件		FA
	具有延时动作的限流保护器件		FR
	具有延时和瞬时动作的限流保护器件		FS
	熔断器		FU
	限压保护器件		FV
发生器、发电机、 电源	发生器		GS
	同步发电机		
	异步发电机		GA
	蓄电池		GB
	旋转式或固定式变频器		GF

(续)

设备、装置和元 器件种类	名 称	基本文字符号	
		单字母	双字母
信号器件	声响指示器	H	HA
	光指示器		HL
	指示灯		HL
继电器、 接触器	瞬时接触继电器	K	KA
	瞬时有或无继电器		
	交流继电器		KL
	闭锁接触继电器 (机械闭锁或永磁铁式有或无继电器)		
	双稳态继电器		
	接触器		KM
	极化继电器		KP
	簧片继电器		KR
	延时有或无继电器		KT
	逆流继电器		KR
电感器、电抗器	感应线圈	L	
	线路陷波器		
	电抗器(并联和串联)		
电动机	电动机	M	
	同步电动机		MS
	可作发电机的电机		MG
	力矩电动机		MT
测量设备、 试验设备	电流表	P	PA
	(脉冲)计数器		PC
	电能表		PJ
	记录仪表		PS
	时钟、操作时间表		PT
	电压表		PV
电力电路 的开关器件	断路器	Q	QF
	电动机保护开关		QM
	隔离开关		QS
电阻器	电阻器	R	
	变阻器		
	电位器		RP
	测量分路表		RS
	热敏电阻器		RT
	压敏电阻器		RV

(续)

设备、装置和元 器件种类	名 称	基本文字符号	
		单字母	双字母
控制、记忆、 信号电路的 开关器件选择	控制开关	S	SA
	选择开关		SA
	按钮		SB
	机电式有或无传感器 (单级数字传感器)		
	液体标高传感器		SL
	压力传感器		SP
	位置传感器(包括接近传感器)		SQ
	转速传感器		SR
	温度传感器		ST
变压器	电流互感器	T	TA
	控制电路电源用变压器		TC
	电力变压器		TM
	磁稳压器		TS
	电压互感器		TV
传输通道、天线	导线	W	
	电缆		
	母线		
端子、插头、插座	连接插头和插座	X	
	接线柱		
	电缆封端和接头		
	焊接端子板		
	连接片		XB
	测试插孔		XJ
	插头		XP
	插座		XS
	端子板		XT
电气操作的 机械器件	气阀	Y	
	电磁铁		YA
	电磁制动器		YB
	电磁离合器		YC
	电磁吸盘		YH
	电动阀		YM
	电磁阀		YV

2. 常用电气辅助字母符号（见表 1-3）

表 1-3 常用电气辅助字母符号

文字符号	名称	文字符号	名称
A	电流	M	主
A	模拟	M	中
AC	交流	M	中间线
A(AUT)	自动	M(MAN)	手动
ACC	加速	N	中性线
ADD	附加	OFF	断开
ADJ	可调	ON	闭合
AUX	辅助	OUT	输出
ASY	异步	P	压力
B(BRK)	制动	P	保护
BK	黑	PE	保护接地
BL	蓝	PEN	保护接地与中性线共用
BW	向后	PU	不接地保护
C	控制	R	记录
CW	顺时针	R	右
CCW	逆时针	R	反
D	延时(延迟)	RD	红
D	差动	R(RST)	复位
D	数字	RES	备用
D	降	RUN	运转
DC	直流	S	信号
DEC	减	ST	起动
E	接地	S(SET)	置位,定位
EM	紧急	SAT	饱和
F	快速	STE	步进
FB	反馈	STP	停止
FW	正,向前	SYN	同步
GN	绿	T	温度
H	高	T	时间
IN	输入	TE	无噪声(防干扰)接地
ING	增	V	真空
IND	感应	V	速度
L	左	V	电压
L	限制	WH	白
L	低	YE	黄
LA	闭锁		

1.4 常用电气基本定律

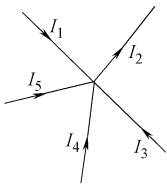
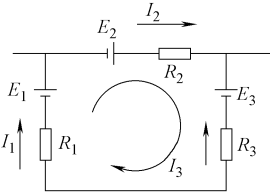
1.4.1 电磁感应定律（见表 1-4）

表 1-4 电磁感应定律

名称	示意图	说明
直导体右手螺旋定则		大拇指—指向电流方向 弯曲四指—指向磁力线方向
螺旋线圈右手螺旋定则		大拇指—指向螺旋线圈内部的磁力线方向 弯曲四指—指向电流方向
左手定则		伸直四指—指向电流方向 掌心—穿过磁力线,即对着 N 极; 大拇指—电磁力方向
右手定则		大拇指—导体运动方向; 掌心—穿过磁力线、即对着 N 极 伸直四指—感应电动势方向

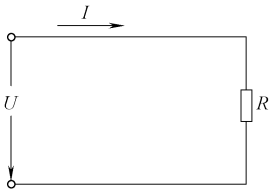
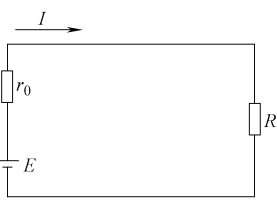
1.4.2 基尔霍夫定律（见表 1-5）

表 1-5 基尔霍夫定律

名称	示意图	说明
基尔霍夫第一定律——流入任一节点电流的代数和等于零	例 $\sum I_{\text{入}} = \sum I_{\text{出}} \text{ 或 } \sum I = 0$  $I_1 + I_3 + I_4 + I_5 = I_2$ 或 $I_1 - I_2 + I_3 + I_4 + I_5 = 0$	$\sum I_{\text{入}}$ —流入节点电流之和 $\sum I_{\text{出}}$ —流出节点电流之和 $\sum I$ —电流代数和
基尔霍夫第二定律——任一回路中,电阻压降的代数和等于电动势代数和	例 $\sum IR = \sum E$  $I_1 R_1 + I_2 R_2 - I_3 R_3 = E_1 + E_2 - E_3$	

1.4.3 欧姆定律（见表 1-6）

表 1-6 欧姆定律

名称	定义	示意图	说明
部分电路欧姆定律	在一段不含电动势只有电阻的电路中,流过电阻的电流大小与加在电阻两端的电压成正比,而与电路中的电阻成反比	$I = U/R$ 	U —电压,单位是伏特(V) R —电阻,单位是欧姆(Ω) I —电流,单位是安培(A)
全电路欧姆定律	在只有一个电源的无分支闭合电路中,电流与电源电动势成正比,与电路的总电阻成反比	$I = E/(R + r_0)$ 	E —电源电动势,单位是伏特(V) R —负载电阻,单位为欧姆(Ω) r_0 —电源的内电阻,单位是欧姆(Ω) I —电路中的电流,单位是安培(A)

1.5 电工常用速算公式

1.5.1 电气导线速算公式

1. 导线电阻速算（见表 1-7）

表 1-7 导线电阻速算

项 目		公 式	说 明
单股圆线	圆铝单线	$R = \frac{36}{d^2}$	R —每千米导线直流电阻(Ω) ; d —导线直径(mm) A —导线截面积(mm^2) L —导线长度(km) K —系数(见表 1-8)
	圆铜单线	$R = \frac{22}{d^2}$	
	单根镀锌铁线	$R = \frac{170}{d^2}$	
绞线	铝绞线	$R = \frac{30}{A}$	
	钢芯铝绞线	$R = \frac{30.5}{A}$	
导线		$R = K \frac{L}{A}$	

表 1-8 导线电阻率速算系数

导线材料	铝	铜
系数 K	30	17

【例题】 直径为 4mm 的圆铜单线，速算每千米的直流电阻是多少？

解：根据公式

$$R = \frac{22}{d^2} = \frac{22}{4^2} = 1.375\Omega$$

答：直径为 4mm 的圆铜单线，速算每千米的直流电阻是 1.375 Ω 。

2. 导线截面积速算（见表 1-9）

表 1-9 导线截面积速算

项 目		公 式	说 明
电动机供电铝导线截面积		$A = P - K$	A —电动机供电导线截面积(mm^2) ; P —电动机功率(kW) ; K —系数(见表 1-10)
架空线路铝导线 截面积	380/220V 三相四 线制架空线路	$A = 4M = 4PL$	A —导线截面积(mm^2) ; M —负荷矩($\text{MW} \cdot \text{m}$) ; P —线路送电功率(kW) ; L —架空线路长度(km)
	单相 220V 架空线 路	$A = 24M = 24PL$	A —导线截面积(mm^2) ; M —负荷矩(kW · km) ; P —线路输送功率(kW) ; L —架空线路长度(km)
	按电 流 选 择 架 空 线路	$A = \frac{I}{K}$	A —导线截面积(mm^2) ; I —线路电流(A) ; K —系数(见表 1-11)

(续)

项目	公式	说明
供电线路铜导线截面积	$A_{\text{cu}} = \frac{A_{\text{Al}}}{1.7}$	A_{cu} —供电线路铜导线截面积(mm^2); A_{Al} —供电线路铝导线截面积(mm^2)
按经济电流密度选择导线截面积	$A = KP$	A —导线截面积(mm^2); P —线路负载($\text{MV} \cdot \text{A}$); K —系数(见表 1-12)

表 1-10 电动机供电铝导线截面积速算系数

电动机功率/kW	5.5 以下	7.5	10 ~ 75	100	125	150
系数 K	3	4	5	- 20	- 25	

表 1-11 架空线路铝导线截面积速算系数

线路电流/A	100	150	200	250	300	350	400
系数 K	4			3.5	3		2.5

表 1-12 不同导线在不同电压时的速算系数

电压/kV		3	6	10
系数 K	种类			
	铝电缆	420	210	120
	铜电缆	225	110	70
	架空铝线	170	86	55
	架空铜线	88	46	217
	铝母线	170	86	52

【例题】 一条 220V 单相照明线路，长为 100m，负载为 10kW，应选用多大截面积的铜导线？

解：根据公式先选用铝导线的截面积，

$$A_{\text{Al}} = 24M = 24PL = 24 \times 10 \times 0.1 \text{mm}^2 = 24 \text{mm}^2$$

铜导线的截面积根据公式：

$$A_{\text{cu}} = \frac{A_{\text{Al}}}{1.7} = \frac{24}{1.7} \approx 14 \text{mm}^2$$

答：应选用 14mm² 的铜导线。

3. 导线质量速算（见表 1-13）

表 1-13 导线质量速算

项	目	公式	说 明
单根导线	圆铜单线	$m = 7d^2$	m —每千米导线直径 d —导线直径(mm) A —导线截面积(mm^2)
	圆铝单线	$m = 2.12d^2$	
	单股镀锌铁线	$m = 6.13d^2$	
绞线	铝绞线	$m = 3A$	
	钢绞线	$m = 8A$	
	硬铜绞线	$m = 9A$	
	镀锌钢线		
	钢芯铝绞线	$m = 4A$	

【例题】 请计算导线直径为 0.5mm 的铜导线，每千米的质量。

解：根据公式：

$$m = 7d^2 = 7 \times 0.5^2 \text{kg} = 1.75 \text{kg}$$

4. 导线安全载流量速算（见表 1-14）

表 1-14 导线安全载流量速算公式

项目		公式	说 明
架空裸导线	铝裸导线	$I = KA$	I —铝绞线安全电流(A) A —铝绞线截面积(mm^2) K —系数(见表 1-15)
	铜裸导线		I —铜绞线安全电流(A) A —铜绞线截面积(mm^2) K —系数(见表 1-16)
绝缘导线	绝缘铝线		I —绝缘铝线安全电流(A) A —铝绞线截面积(mm^2) K —系数(见表 1-17)
	绝缘铜线		I —绝缘铜线安全电流(A) A —铜绞线截面积(mm^2) K —系数(见表 1-18)
导线穿管		$I' = K'I$	I' —导线穿管时安全电流(A) I —导线安全电流(A) K' —系数(见表 1-19)
母线排	铝排	$I = Ka$	I —铝排安全电流(A) a —铝排宽度(mm) K —系数(见表 1-20)
	铜排	$I = 1.3Ka = 1.3I_{\text{Al}}$	I —铜排安全电流(A) a —铜排宽度(mm) K —系数(见表 1-20)采用铝排系数 I_{Al} —铝排载流量(A)
	钢排	$I = Kab$	I —钢排安全电流(A) a —钢排宽度(mm) b —钢排厚度(mm) K —系数(见表 1-21)
绝缘导线电力电缆		$I = A [4^{\frac{n}{3}} - \frac{1}{3}n - 2] A'B + K$	I —安全电流(A) A —导线截面积(mm^2) A' —材料系数,铝芯为 1,铜芯为 $(1 + \frac{1}{4})$ K —电流修正系数,小于或等于 10mm^2 时,明敷导线、架空和埋地电缆为 1.5A,暗敷导线为 0,大于 10mm^2 时,明敷导线、架空电缆为 16;明敷导线为 -10,埋地电缆为 0 n —对应于基准截面为 10mm^2 递增或递减级数(见表 1-22)

表 1-15 架空铝裸绞线不同截面积的速算系数

导线截面积/mm ²	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240	300
系数 <i>K</i>	6.5	5	4.5	4	3.5	3		2.5		2	

表 1-16 架空铜裸绞线不同截面积的速算系数

导线截面积/mm ²	16	25	35	50	70	95	120	150	185	240
系数 <i>K</i>	8	6		5	4		3		2.5	

表 1-17 绝缘铝绞线不同截面积的速算系数

导线截面积/mm ²	1	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120
系数 <i>K</i>	10		8	7	6	5	4	3		2			

表 1-18 绝缘铜绞线不同截面积的速算系数

导线截面积/mm ²	1	1.5	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120
系数 <i>K</i>	14		11	9	8	7	6	5	4	3			

表 1-19 导线穿管根数速算系数

导线穿管根数	2	3	4
系数 <i>K'</i>	0.8	0.7	0.6

表 1-20 铝、铜母排厚度速算系数

铝排厚度/mm	3	4	5	6	7	8	9	10
系数 <i>K</i>	10	12	13	14	15	16	17	18

表 1-21 钢母排宽、厚速算系数

钢排宽/mm	30	40	40	50
钢排厚/mm	3	4		
系数 <i>K</i>	1	0.8		

表 1-22 递增（减）级数

导线截面积/mm ²	2.5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150
级数 <i>n</i>	3	2	1	0	1	2	3	4	5	6		

1.5.2 电气设备速算公式

1. 熔体选择速算公式（见表 1-23）

表 1-23 熔体选择

项 目	公 式	说 明
单台电动机	$I = 4P$	<i>I</i> —熔体电流(A) <i>P</i> —电动机功率(kW)

(续)

项 目		公 式	说 明
多台电动机		$I = 4P_{\max} + 2 \sum P$	I —熔体电流(A) $P_{\max}$ —其中最大电动机的功率(kW) $\sum P$ —其余电动机功率之和(kW)
三相电力变压器	低压侧	$I_D = I_{ND}$	I_D —低压侧熔体电流(A) I_{ND} —低压侧额定电流(A)
	高压侧	$I_G = 2I_{NG}$	I_G —高压侧熔体电流(A) I_{NG} —高压侧额定电流(A)
减压启动时笼型电动机		$I = 2.1P$	I —熔体电流(A) P —电动机功率(kW)
电焊机		$I = KI_N$	I —熔体电流(A) I_N —电焊机额定电流(A) K —系数(见表1-24)
变流装置的快速熔断器		$I = 1.57I_N$	I —快速熔断器的熔体的电流(A); I_N —晶闸管额定电流(A)
电容器		$I = 1.5I_N$	I —熔体电流(A) I_N —电容器额定电流(A)
晶闸管主回路熔断器		$I_R = (1.25 \sim 1.5)I = 1.38I$	I_R —快速熔断器额定电流(A) I —晶闸管额定电流平均值(A)

表 1-24 暂载率速算系数

暂载率 ε	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25
系数 K	0.27	0.38	0.47	0.54	0.6
暂载率 ε	0.3	0.4	0.5	0.6	0.65
系数 K	0.66	0.76	0.85	0.93	0.97

【例题】有一台笼型三相异步电动机，功率为40kW，电压为380V，采用降压启动器进行启动，请速算其熔体电流？

解：根据公式：

$$I = 2.1P = 2.1 \times 40 = 84A$$

2. 交流接触器及热继电器选择速算公式（见表1-25）

表 1-25 交流接触器及热继电器选择速算

项目		公式	说 明
交流接触器	电流	$I = (1.3 \sim 2)I_N$	I —交流接触器额定电流(A) I_N —电动机额定电流(A)
	线圈重绕	$N = \frac{45U}{BA}$	N —线圈匝数 U —工作电压(V) B —铁心磁通密度，一般取1.1~1.4T，硅钢片含硅量较高或铁心温升较低时，可选较高值，反之选较低值 A —铁心截面积(cm ²)
热继电器		$I = KI_N$	I —热继电器额定电流(A) I_N —电动机额定电流(A) K —系数，选择热继电器时 $K = 1.2$ ，整定电流时 $K = 1.05$

【例题】 有一台三相异步电动机 Y112M-4，额定电压为 380V，额定电流为 8.8A，选择热继电器并速算整定电流是多少？

解：选择热继电器的电流，即

$$I = 1.2I_N = 1.2 \times 8.8A = 10.6A$$

选用 JR16-20/3D，其电流为 6.8 ~ 11A 的热继电器。

整定电流为

$$I = 1.05I_N = 1.05 \times 808 = 9.2A$$

3. 电容器速算公式（见表 1-26）

表 1-26 电容器速算公式

项目	公式	说 明
电容器无功容量	$Q_c = KC$	Q_c —无功功率(kvar) C —电容值(μF) K —系数(见表 1-27)
电容器放电电阻	$R \leq \frac{7.26}{Q_c} \times 10^5$	R —放电电阻(Ω) Q_c —电容器组总电容(kvar)

表 1-27 电容器电压速算系数

电压/kV	0.23	0.4	3.15	6.3	10.5
系数 K	0.017	0.05	3.1	12.5	34.6

【例题】 某低压电容器组总容量为 400kvar，接入相电压为 0.22kV，问如何选用放电电阻？

解：根据公式

$$R \leq \frac{7.26}{Q_c} \times 10^5 = \frac{7.26}{400} \times 10^5 \Omega = 1815\Omega$$

实际运行中，选用两只 220V，60W 的白炽灯串联后的电阻值为

$$R = 2 \frac{U^2}{P} = 2 \times \frac{220^2}{60} \Omega = 1614\Omega$$

可将两只 220V、60W 的白炽灯串联后，接成三角形作为放电电阻与电容器组并联即可满足要求。

4. 补偿电容量速算（见表 1-28）

表 1-28 补偿电容量速算

项 目	公式	说 明
电动机就地补偿电容量	$Q_c = KP$	Q_c —电容器容量(kvar)； P —电动机功率(kW)； K —系数(见表 1-29)
电动机就地补偿电容量	$Q_c = 0.66I_0$	Q_c —电容器容量(kvar) I_0 —电动机空载电流(A)

(续)

项 目	公 式	说 明
三相用电设备应补偿电容量	$Q_C = KP$	Q_C —功率因数提高到 0.9 时,应补偿的电容量(kvar) P —三相用电量(kW) K —系数(见表 1-30)
无功就地补偿异步电动机功率因数	$\cos\varphi = (\cos\varphi_N)^{\frac{100}{\beta}}$	$\cos\varphi$ —补偿前的功率因数; $\cos\varphi_N$ —额定负载下的功率因数; β —电流负载率, $\beta = \frac{I}{I_N} \times 100\%$ I —运行电流(A) I_N —额定电流(A)

表 1-29 电动机极数速算系数

电动机极数	2	4 ~ 6	8	10
系数 K	0.25	0.3	0.4	0.5

表 1-30 功率因数速算系数

功率因数 $\cos\varphi$	0.8	0.7	0.6	0.5
系数 K	0.25	0.5	0.86	1.25

【例题】 某车间三相用电量为 1000kW，功率因数 $\cos\varphi = 0.8$ ，当将功率因数补偿到 0.9 时，应补偿电力电容器的容量是多少？

解：根据公式

$$Q_C = KP = 0.4 \times 75\text{kvar} = 30\text{kvar}$$

1.5.3 电气负荷速算公式

1. 单相负荷电流速算（见表 1-31）

表 1-31 单相负荷电流速算

项目	公 式	说 明
单相 220V 负荷电流	$I = 4.5P$	I —负荷电流(A) P —用电设备功率(kW)
单相 380V 负荷电流	$I = 2.5P$	

2. 三相负荷电流速算（见表 1-32）

表 1-32 三相负荷电流速算

项目	公 式	说 明
三相异步电动机	$I = KP$	I —三相异步电动机的额定电流(A) P —电动机的功率(kW) K —系数(见表 1-33)
三相电热、电容、变压器	$I = 1.5P$	I —额定电流(A) P —电热设备功率(kW);电容器功率(kvar);变压器功率(kV·A)

(续)

项目	公式	说 明
高压三相电动机	$I = KP$	I —电动机的额定电流(A) P —电动机的功率(kW) K —系数(见表 1-34)
高压三相用电设备	$I = KP$	I —用电设备电流(A) P —用电设备功率(kW);变压器功率(kV·A);电容器功率(kvar); K —系数(见表 1-35)
变压器有功损耗	$\Delta P_b = 0.02S_D$	ΔP_b —变压器的有功损耗(kW)
变压器无功损耗	$\Delta Q_b = 0.1S_D$	ΔQ_b —变压器的无功损耗(kvar) S_D —变电所中变压器高压侧有功计算负荷(kW)

表 1-33 三相异步电动机不同电压及功率的速算系数

电压/V	220	380
K		
功率/kW		
2 以下	4	2.5
大于 2	3.5	2

表 1-34 高压三相电动机电压速算系数

电压/kV	3	6	10	35
系数 K	0.25	0.126	0.075	0.021

表 1-35 高压三相用电设备电压速算系数

电压/kV	3	6	10	35
系数 K	0.2	0.1	0.06	0.017

3. 照明线路电流速算 (见表 1-36)

表 1-36 照明线路电流速算

项 目	公式	说 明
白炽灯	$I = 0.0045P$	I —白炽灯电流(A) P —白炽灯功率(W)
荧光灯	$I = 0.009P$	I —荧光灯电流(A) P —荧光灯功率(W)

4. 民用住宅负荷速算 (见表 1-37)

表 1-37 民用住宅负荷速算

项 目	公式	说 明
单位建筑面积法	$P = KA$	P —民用住宅用电负荷(W) A —民用住宅建筑面积(m^2) K —系数(见表 1-38)
户为基准法	$P = KN$	P —民用住宅用电负荷 N —民用住宅户数 K —系数(见表 1-39)
居民生活区配电变压器容量估算	$S = KA$	S —变压器容量(kV·A) A —建筑面积(km^2) K —系数(见表 1-40)

表 1-38 住宅面积不同档次的速算系数

住宅档次	低	一般	中	高
系数 K	10	20	30	90

表 1-39 住宅户数不同档次的速算系数

住宅档次	低	一般	中	高
系数 K	0.5	1	3	6

表 1-40 变压器容量与面积不同档次的速算系数

住宅档次	低	一般	中	高
系数 K	4	6	8	10

5. 电压损失速算 (见表 1-41)

表 1-41 电压损失速算

项目	公式	计 算
三相 380V 线路	$\Delta U\% = \frac{M}{50A}$	$\Delta U\%$ —线路电压损失的百分数 M —线路的负荷矩(kW·m) A —导线截面积(mm ²) K —系数(见表 1-42) 注:该公式用于铝导线
单相 220V 线路	$\Delta U\% = \frac{M}{8.3A}$	
功率因数为 0.8 的时 电压损失	$\Delta U\% = \frac{KM}{50A}$	
铜线电压损失	$\Delta U_{\text{Cu}}\% = \frac{\Delta U_{\text{Al}}\%}{1.7}$	$\Delta U_{\text{Cu}}\%$ —铜线电压损失 $\Delta U_{\text{Al}}\%$ —铝线电压损失

表 1-42 不同导线截面积的速算系数

导线截面积/mm ²	16,25	35,50	70,95	120,150	185,240
系数 K	1.2	1.4	1.6	1.8	2

6. 工厂用电系统负荷速算 (见表 1-43)

表 1-43 电气系统负荷速算

项目	公式	说 明
全厂负载	$S = KP$	S —全厂容量(kV·A); P —全厂工艺装备容量(kW) K —系数(见表 1-44)
车间负载	$I = KP$	I —车间负载电流(A); P —车间用电设备容量(kW); K —系数(见表 1-45)
两个车间负载	$I = 0.8(I_1 + I_2)$	I —两个车间的总负载电流(A); I_1 —第一个车间的负载电流(A); I_2 —第二个车间的负载电流(A);
一条干线负载	$I = 2(I_{1\text{max}} + I_{2\text{max}})$	I —干线负载电流(A); $I_{1\text{max}}, I_{2\text{max}}$ —分别为容量最大的两台设备容量(A)
照明设备容量	$P_s = A\omega$	P_s —照明设备容量(kW) A —建筑物平面面积(m ²) ω —平面积照明容量(W/m ²), (见表 1-46)

表 1-44 全厂负载的速算系数

负载种类	冶金、纺织	机械	其余
系数 K	1	0.5	0.7

表 1-45 车间负载的速算系数

负载种类	冷床	热床	电热	其余
系数 K	0.5	0.75	1.2	1.5

表 1-46 单位建筑面积照明容量

房间名称	功率指标/(W/m ²)	房间名称	功率指标/(W/m ²)
金工车间	6	各种仓库(平均)	5
装配车间	9	生活间	8
工具修理车间	8	锅炉房	4
金属结构车间	10	机车库	8
焊接车间	8	汽车库	8
锻工车间	7	住宅	4
热处理车间	8	学校	5
铸钢车间	8	办公楼	5
铸铁车间	8	单身宿舍	4
木工车间	11	食堂	4
实验室	10	托儿所	5
煤气站	7	商店	5
压缩空气站	5	浴室	3

注：按白炽灯计算，仅供粗略速算时参考。

【例题】 某纺织厂，工艺装备容量为 8500kW，计算全厂负载是多少？

解：根据公式

$$S = KP = 1 \times 8500 = 8500\text{kV} \cdot \text{A}$$

2.1 电工随身工具的使用

2.1.1 钢丝钳

钢丝钳可以钳夹和弯绞导线头，其齿口可以用来紧固或起松螺母，刀口则可以用来剪切导线或剖切软导线绝缘层，侧刀能用来侧切电线线芯和钢丝、铅丝等软硬金属，钢丝钳是由钳头、钳柄及钳柄绝缘柄套组成，见图 2-1，其绝缘柄套可耐压 500V。

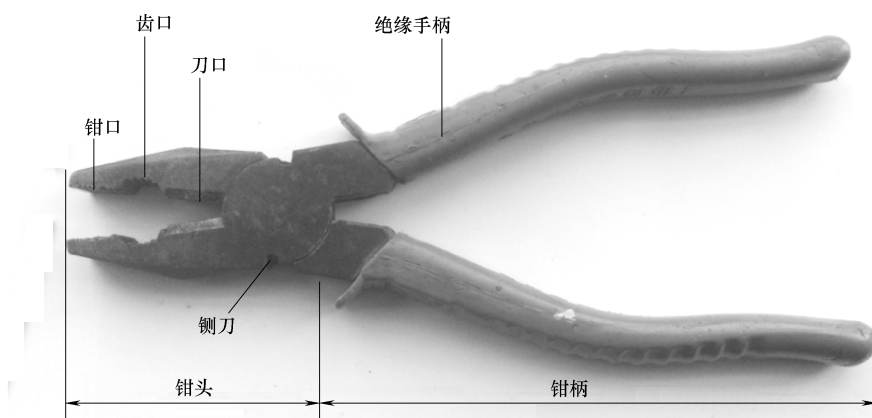


图 2-1 钢丝钳的结构图

钢丝钳的使用方法如图 2-2 所示。



图 2-2 钢丝钳的使用

2.1.2 尖嘴钳

尖嘴钳由钳头和钳柄组成，其头部细长成圆锥形，能在狭小的工作环境中夹持轻巧的工件或线材，也能剪切、弯折细导线，其外形如图 2-3 所示。其绝缘柄的耐压等级为 500V。

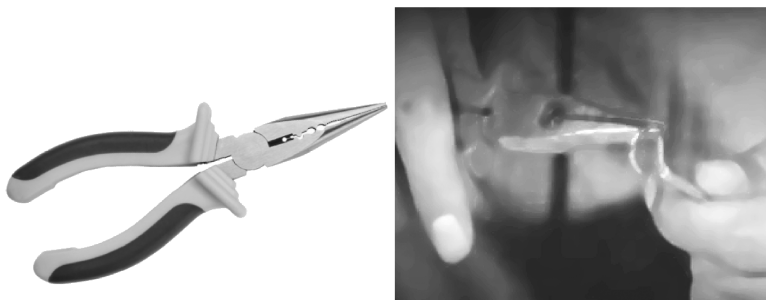


图 2-3 尖嘴钳

尖嘴钳根据钳头的长度可分为短钳头（钳头为钳子全长的 $1/5$ ）和长钳头（钳头为钳子全长的 $2/5$ ）两种。常用的规格有 130mm、160mm、180mm、200mm 四种。

2.1.3 斜口钳

斜口钳又叫断线钳，由钳头和钳柄等部分组成，由于剪切口与钳柄成一定角度，可以用于剪切较粗的导线或其他金属丝。特别是在比较狭小的设备内还可以用于剪切薄金属片、细金属丝或剖切导线的绝缘层等，其外形如图 2-4 所示。另外由于其绝缘手柄能抗 1000V 的电压，所以也能带电剪切导线。

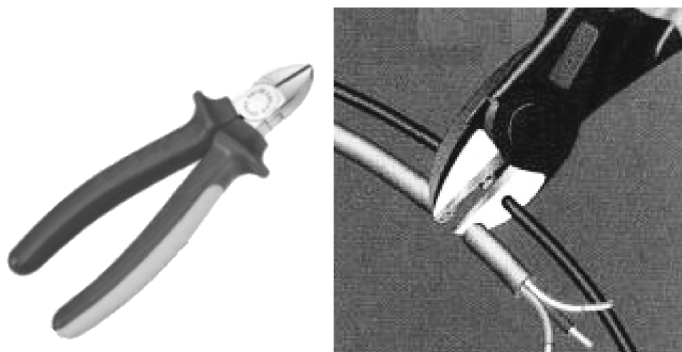


图 2-4 斜口钳

2.1.4 剥线钳

剥线钳是由钳头和手柄两部分组成的，而钳头又是由压线口和切口两部分组成的，它是电工剥削导线绝缘层的专用工具，其钳头的切口处分布有直径为 0.5 ~ 3mm 的多个切口，能适应不同规格的导线，其外形如图 2-5 所示。在使用剥线钳时要注意切口不能小于

被切导线的直径，以免剥伤线芯。

2.1.5 螺钉旋具

螺钉旋具俗称螺丝刀、起子、改锥、旋凿，有十字形和一字形两种，是紧固和拆卸螺钉的工具，如图 2-6 所示。使用螺钉旋具时一定要选择与螺钉规格合适的刀口，否则会损坏螺钉或电器元件，电工使用的螺钉旋具必须带有完整的绝缘套管，握住螺钉旋具手柄时不得触及金属部分，在木制品上固定元件时，应先用螺钉旋具在木品上扎眼，再用螺钉旋具拧入螺钉，不能将螺钉打入木品后再用螺钉旋具拧紧。



图 2-5 剥线钳



图 2-6 螺钉旋具

2.1.6 电工刀

电工刀是一种剖削导线线头、削制木榫的电工常用工具，使用电工刀时，刀口应朝外，刀面与导线应成较小的锐角。由于电工刀柄没有绝缘保护，不能在带电导线上使用。电工刀不许代替手锤敲击使用。用完后，应立即将刀身折入刀柄内，如图 2-7 所示。

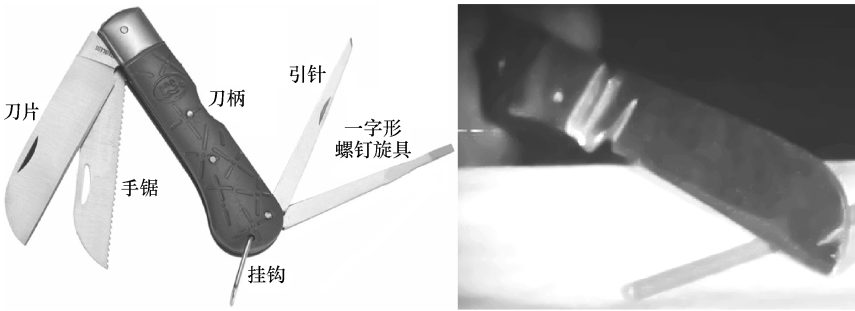


图 2-7 电工刀

电工刀的刀刃部分要磨得锋利才好剥削电线，但不可太锋利，太锋利容易削伤线芯，当然磨得太钝，则无法剥削绝缘层。磨电工刀刃一般采用磨刀石或油磨石，磨好后再把底部磨点倒角，即刃口略微圆一些。双芯护套线的外层绝缘的剥削可以用刀刃对准两芯线的中间部位，把导线一剖为二。

2.1.7 钢锯

钢锯又叫手锯，是用来切割电线管的工具，如图 2-8 所示。

锯弓是用来张紧锯条的，分为固定式和可调式两种，常用的是可调式。锯条根据锯齿的牙距大小，分为粗齿、中齿和细齿三种，常用的规格为 30mm 一种。锯条应根据所锯材料的软硬、厚薄来选用。一般情况下，粗齿锯条可用来锯割软材料或锯缝长的工件，细齿锯条可用来锯割硬材料、薄板料及角铁。锯条的安装可按加工需要，将锯条装成直向的或横向的，且锯齿

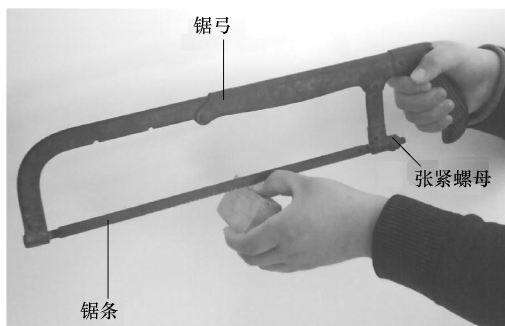


图 2-8 钢锯

的齿尖方向要向前，不能反装。锯条的绷紧程度要适当，若过紧，锯条会因受力而失去弹性，锯割时稍有弯曲，就会崩断；若安装过松，锯割不但容易弯曲造成折断，而且锯缝也易外斜。

2.1.8 手锤

手锤是由锤头、锤柄和楔子组成，其外形如图 2-9 所示。手锤的规格以锤头的重量来区分，常用的有 0.25kg、0.5kg 和 1.0kg 等几种。手锤的锤柄一般是用比较坚韧的木材制成的长度一般在 300 ~ 350mm 之间。为了防止锤头脱落，一般都要将带有倒刺的斜楔打入锤柄顶端。而且无论哪一种规格的手锤，锤头孔都要做成椭圆形，而且孔的两端都比中间大，成凹鼓形，这样做的目的就是为了装紧锤柄。



图 2-9 手锤

使用手锤时，为了锤击有力，应握在手柄的末端。锤击时应对准工件，并使锤头整个表面与其接触，以免损坏锤面和工件（见图 2-10）。

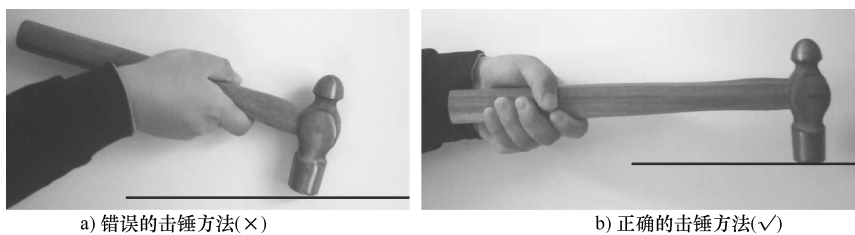


图 2-10 手锤的使用

手锤的握法有紧握和松握两种，如图 2-11 所示。

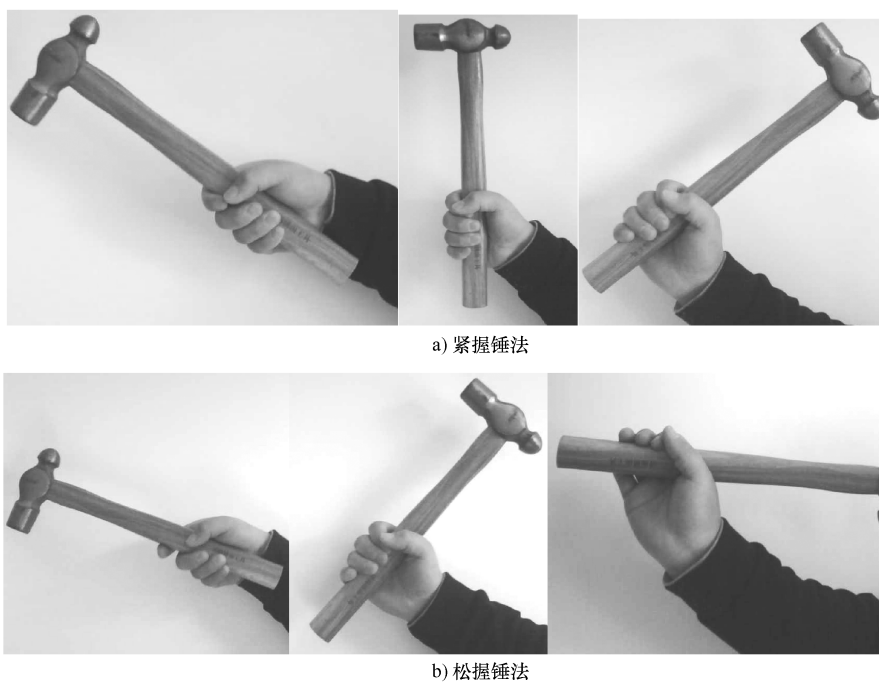


图 2-11 手锤握法

挥锤的方法有腕挥、肘挥和臂挥三种。腕挥是依靠手腕的动作进行锤击，采用紧握法握锤；肘挥是依靠手腕和肘部一起挥动，要采用松握法握锤，锤击力较大；臂挥是手腕、肘部和全臂一起挥动，锤击力最大，如图 2-12 所示。

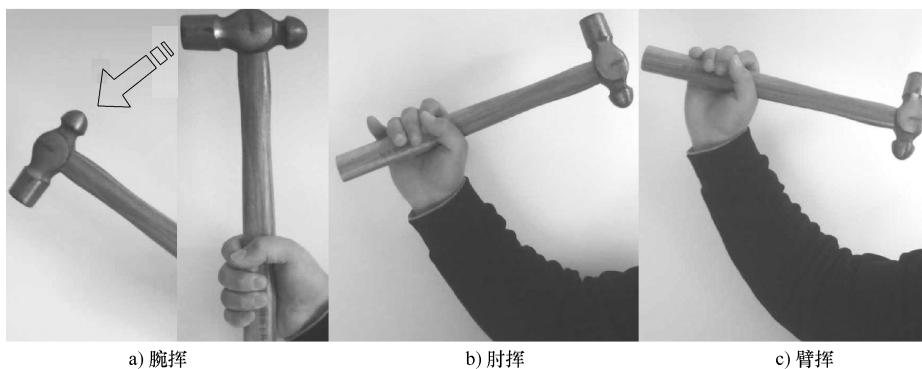


图 2-12 挥锤的方法

2.1.9 扳手

扳手是一种用来紧固或起松螺栓的工具。其中活扳手由头部和柄部组成，头部又是由活扳唇、呆扳唇、扳口、蜗轮和轴销等组成，如图 2-13 所示。

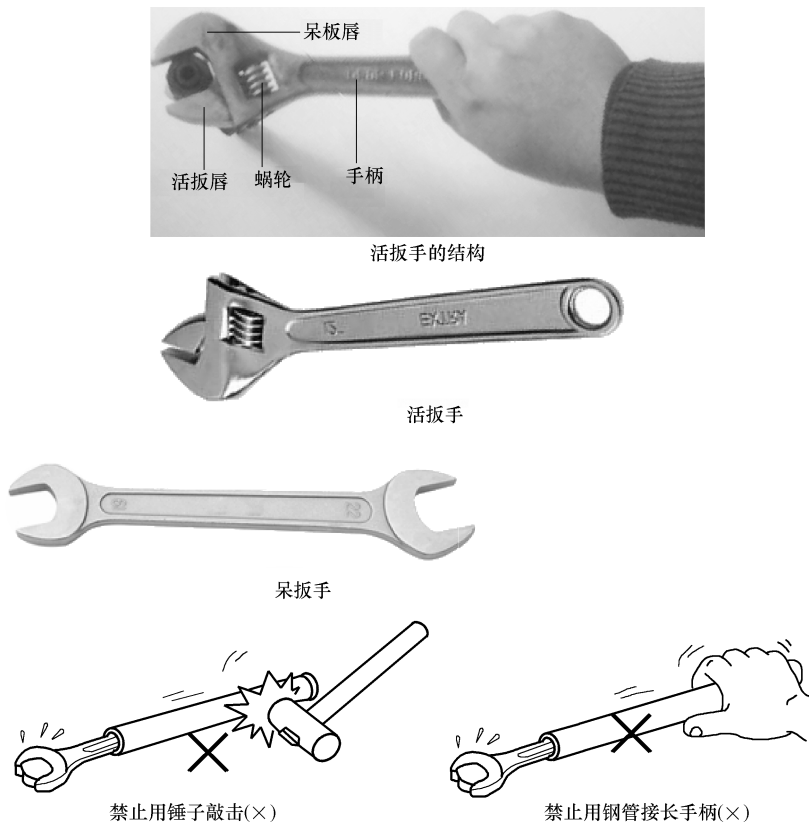


图 2-13 扳手及其使用

在使用活扳手时，应将扳唇压紧螺栓的平面。扳动大螺母时，手应握在近柄尾处。扳动较小的螺栓时，应握在接近头部的位置。使力时手指要随时旋调蜗轮，收紧活扳唇，以防止打滑。活扳手不能反用，以免损坏活扳唇，更不可用钢管接长手柄施加较大的力矩。另外，活扳手也不能当撬棍或手锤使用。在扳动生锈的螺母时，可在螺母上滴几滴煤油或机油，这样就容易拧动了

2.1.10 电工凿

电工凿如图 2-14 所示，主要用于在混凝土结构上凿孔以便埋设木樁、角钢

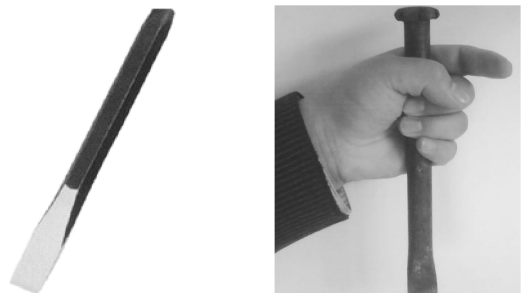


图 2-14 电工凿

支架等。

2.1.11 电工工具包和工具夹

电工工具包是用来装安装器材的背包，大多是用帆布制成的，一般要斜挎在肩上。而电工工具夹是用来随身携带钳子、扳手、螺钉旋具等工具的，大多是用皮革制成的，使用时要佩挂在背后右侧的腰带上，以便于随手取用和归放工具。如图 2-15 所示。



图 2-15 电工工具包和工具夹

2.2 设备安装工具的使用

2.2.1 紧线器

紧线器又叫紧线钳、拉线钳等，如图 2-16 所示。紧线器是用来收紧户内外绝缘子线

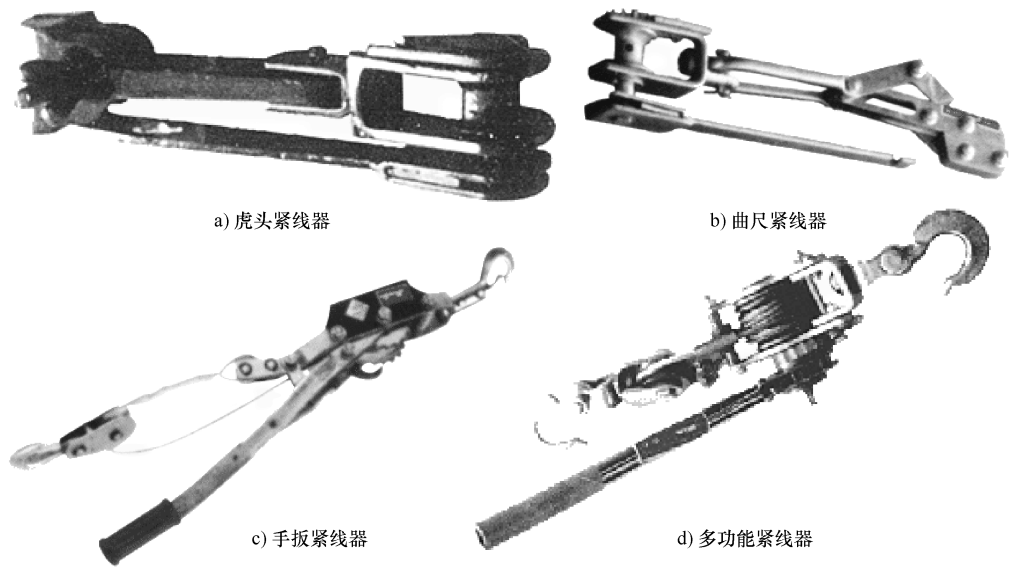


图 2-16 紧线器

路和户外架空线路导线的工具。

紧线器的使用如图 2-17 所示，方法如下：

- 1) 紧线器使用时先把紧线器上的钢丝绳或镀锌铁线松开，并固定在横担上。
- 2) 用夹线钳夹住导线，然后扳动专用扳手。由于棘爪的防逆转作用，逐渐把钢丝绳或镀锌铁线绕在棘轮滚筒上，使导线收紧。

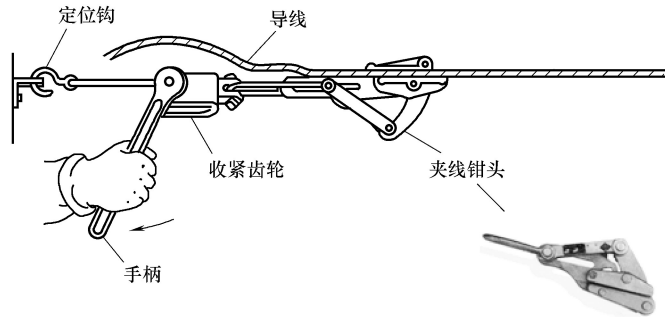


图 2-17 紧线器的使用

2.2.2 压接钳

压接钳具有操作方便、连接良好等特点，是连接导线或端子的必备工具，常用的压接钳有机械式和液压式两种，如图 2-18 所示。



图 2-18 压接钳

压接钳的使用方法如图 2-19 所示，操作步骤如下：

1) 清除导线连接部位的污垢, 用汽油洗净, 再抹上中性凡士林油。选用与导线规格相应的接线管, 并检查其有无缺陷, 然后用汽油洗净, 并画好压点位置 (见图 2-19 第①~④步)。

2) 将导线和衬垫插入连接管内, 衬垫应在两线之间, 导线各露出管口 20mm 为宜 (见图 2-19 第⑤步)。

3) 按导线规格选择合适的压模装在钳口上, 并将插入导线的连接管放在压模口内启动压钳, 按规定的顺序和标定位置压挤导线, 压后应停留 30s, 直到压完。在压第一模时应检查其凹深程度, 合格后再压。另外, 压接钳的压模分铝绞线、铜绞线和钢芯铝绞线三种, 规格与导线对应, 要选择正确 (见图 2-19 第⑥、⑦步)。

4) 压好后要清除飞边、毛刺, 然后在连接管处抹防锈漆。管口部位不要有损伤, 不合格时要锯断重新压接。

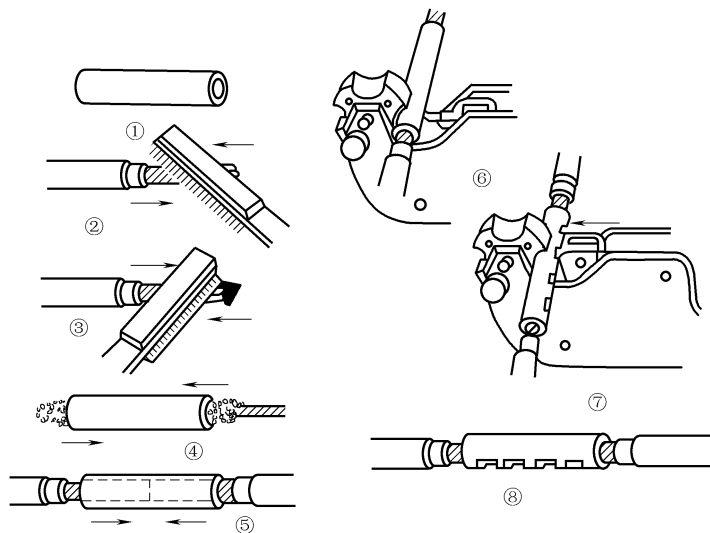


图 2-19 压接钳的使用

2.2.3 板牙架及板牙

板牙架及板牙主要用于钢电线管套螺纹以便于钢线管的连接, 是电工常用的设备安装工具之一, 如图 2-20 所示。

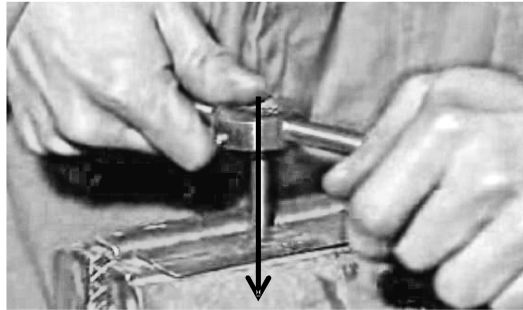


图 2-20 板牙架及板牙

电线管用板牙架及板牙套螺纹的方法如图 2-21 所示。



第①步，选择匹配的板牙并正确安装



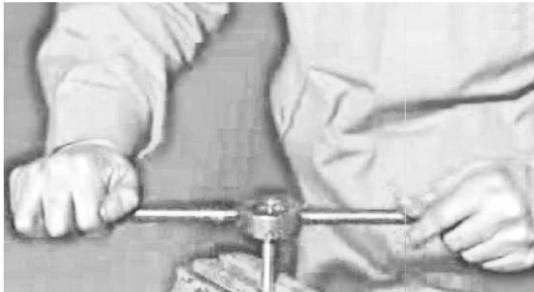
第②步，开始套螺纹时一只手向下施加压力，慢慢转动铰杠



第③步，切入1~2圈后检查垂直度



第④步，加入润滑液



第⑤步，匀速转动铰杠套出螺纹

图 2-21 套螺纹的方法

2.3 安全工具的使用

2.3.1 安全帽

安全帽是对人体头部进行防护的重要安全用具（见图 2-22）。在佩戴安全帽前，要先对安全帽进行必要的外观检查：看看安全帽有无变形或裂纹，安全帽内的帽衬组件是否完备、整齐、牢固等。

安全帽的试验项目、周期和要求可按表 2-1 进行。

表 2-1 安全帽的试验项目、周期和要求

试验项目	试验周期	试验要求	备 注
耐穿刺性能试验	每年一次	钢锥不接触头模表面	塑料帽的最长试验周期不能 ≤ 2.5 年,玻璃钢帽不能 ≤ 3.5 年
冲击性能试验	每年一次	冲击力 $<4900\text{N}$	

工作人员进入施工现场前一定要佩戴合格的安全帽,有的人喜欢把安全帽当作小板凳坐在地上休息用,这是绝对不允许的!

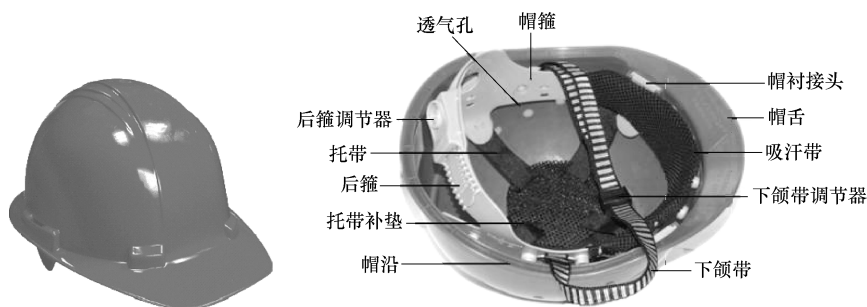


图 2-22 安全帽

2.3.2 绝缘手套

绝缘手套一般用橡胶、乳胶、塑料等材料做成,质地柔软、耐曲挠,有足够的长度,至少超过手腕 100mm,使用时应穿束口衣服,并将袖口伸到手套内。使用时手应保持干燥及干净,应避免与锋利尖刃物及污物接触,以免损伤其绝缘性能,如图 2-23 所示。应该注意的是:绝不能用医疗、化学用的手套代替绝缘手套,也不能把绝缘手套用作其他用途。

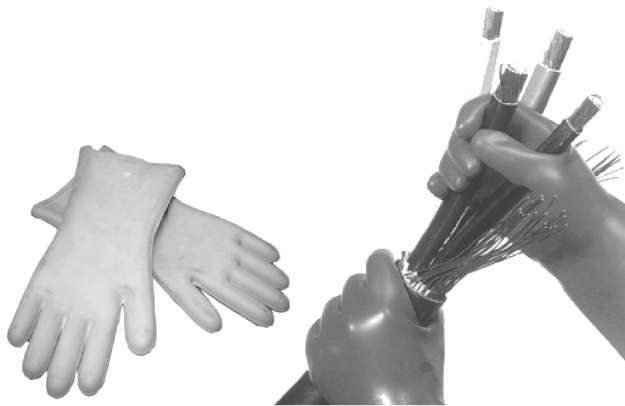


图 2-23 绝缘手套

绝缘手套是在高压电气设备上操作时的辅助安全用具,也是在低压设备的带电部分上工作时的基本安全用具。根据规程要求,绝缘手套必须定期检查并作交流耐压试验和泄漏电流试验。

2.3.3 绝缘靴

绝缘靴(见图 2-24)是用特种橡胶制成的,里面有衬布,通常不上漆。普通水靴是

达不到绝缘靴的绝缘水平的，所以不能用普通水靴代替绝缘靴。

绝缘靴按其绝缘水平可划分为三种：

1) 20kV 短筒绝缘靴是一种胶面胶靴，多为黑色，在 1 ~ 220kV 高压范围内作为辅助安全用具，不能触及高压带电体；对 1kV 以下可作为基本安全用具，同时穿靴后人体各个部位不能触及带电体（见图 2-24b）；

2) 6kV 矿用绝缘靴是一种胶面胶靴，多为黑色，是适用于矿山井下操作 660kV 及以下电器的辅助安全用具，同时也能防跨部电压触电（见图 2-24a）；

3) 5kV 布面电工绝缘鞋一般为军绿色，适用于电工 1kV 及以下作业。在室外也能防跨步电压触电，1kV 以上严禁使用。



图 2-24 绝缘靴

使用绝缘靴要注意以下几点：

1) 绝缘靴不能在下雨天当作水靴、胶鞋使用。若发现绝缘靴受潮或磨损严重，严禁使用。

2) 绝缘靴是在电气设备上工作时用来与地绝缘的辅助安全用具，也是防止跨步电压触电的基本安全用具，它选用特种橡胶制成。

3) 绝缘靴要存放在柜子里，并应与其他工具分开放置。绝缘靴应半年定期试验一次，保证绝缘良好。

2.3.4 绝缘垫

绝缘垫又叫绝缘胶板、绝缘板，一般是由橡胶做成，厚度不能小于 5mm，表面有防滑条纹，如图 2-25 所示，绝缘垫的最小尺寸不能小于 0.8m × 0.8m，绝缘垫一般铺设在配电装置周围，以加强操作人员对地的绝缘，防止接触电压及跨步电压。

在 1 ~ 220kV 之间的电气作业时，绝缘垫可作为辅助安全用具但不能触及带电体；在 1000V 以下的电气作业中，绝缘垫则可以作为基本安全用具，能接触有电设备。

绝缘垫必须放在干燥的地方，要长期保持清洁。一旦发现绝缘垫有破损等情况时应立即停止使用。

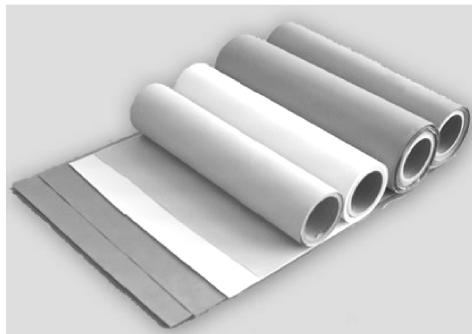


图 2-25 绝缘垫

2.3.5 绝缘操作杆

绝缘操作杆是电力工作人员最常用的安全工具之一，它又叫绝缘杆、绝缘棒或拉闸杆等，一般是用浸过漆的优良木材、电木、胶木、塑料、环氧玻璃布棒、环氧玻璃管制成。

绝缘操作杆为了携带方便，一般都制成分段式，段与段之间用螺纹连接，有的连接处镶有金属螺纹，有的则做成套筒式，使用时接上或拉出即可，如图 2-26 所示。

从构造上来看，绝缘操作杆包括工作部分、绝缘部分和握手部分。其中工作部分大多是由铜、铸钢、铝合金等金属材料制成，根据需要可以做成不同的形状，装在操作杆的顶端。要注意的是，工作部分的金属钩，在满足需要的情况下，应尽量做的短一些，以免在操作时造成接地或相间短路，工作部分的长度，一般为 50 ~ 80mm；绝缘操作杆的握手部分和绝缘部分的构造是相同的，连接部分有明显的界线，有的则装有隔离环。绝缘操作杆的绝缘部分应光滑无裂纹、无机械损伤，长度不应小于表 2-2 中的规定。

表 2-2 绝缘操作杆和绝缘夹钳的最小长度 (单位：m)

电压/kV		户内设备用		架空线路及户外设备用	
		绝缘部分	握手部分	绝缘部分	握手部分
10 及以下	绝缘杆	0. 70	0. 30	1. 10	0. 40
	绝缘夹钳	0. 45	0. 15	0. 75	0. 20
35 及以下	绝缘杆	1. 10	0. 40	1. 40	0. 60
	绝缘夹钳	0. 75	0. 20	1. 20	0. 20

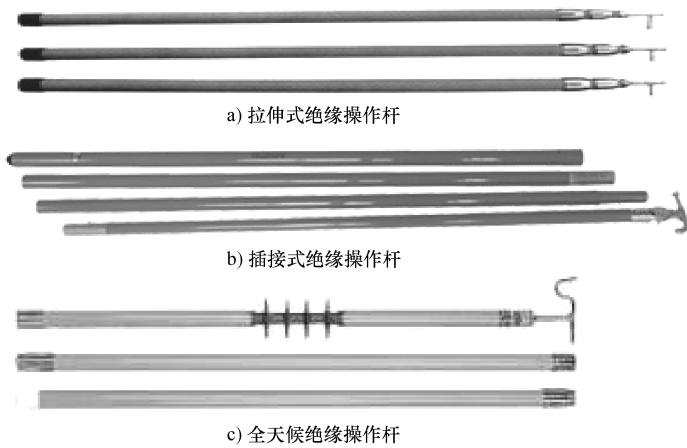


图 2-26 绝缘操作杆

绝缘操作杆主要用于操作高压隔离开关和跌落式熔断器的分合、安装和拆除临时接地线、放电操作、处理带电体上的异物，以及进行高压测量、试验、直接与带电体接触的操作等各项作业。

绝缘操作的使用方法：

1) 在使用绝缘操作杆前应进行外观检查，表面应无裂纹、划痕、毛刺、孔洞、断裂及机械损伤，并应用干净的棉布将绝缘操作杆擦拭干净。

2) 使用绝缘操作杆时，必须戴上相应电压等级的绝缘手套，穿上相应电压等级的绝缘靴，必要时还要站在绝缘垫上进行操作，有时也可以戴上护目镜。雨雪天气操作室外高压电器时，绝缘杆上应装有防雨雪的伞形罩。

3) 电压等级低的绝缘操作杆不能操作高一级电压的电器，但能操作低一级的。使用绝缘操作杆时应有专人监护。

4) 绝缘操作杆用完后，应放置在便于取用的地方，并应注意防潮，应垂直存放，放在木架上或吊挂在室内，不能接触墙壁，以免受潮破坏绝缘。

2.3.6 绝缘钳

绝缘钳如图 2-27 所示，是由电木、胶木或经亚麻仁油浸煮过的优质木材制成的。主要是用来夹持高压熔断器以便安装或取下。

使用绝缘钳操作时要佩戴护目镜、绝缘手套，穿绝缘靴或站在绝缘台上，精神集中，注意保持身体平衡，握紧绝缘夹，不能使夹持物滑脱落下；在潮湿的雨雪天气情况下使用

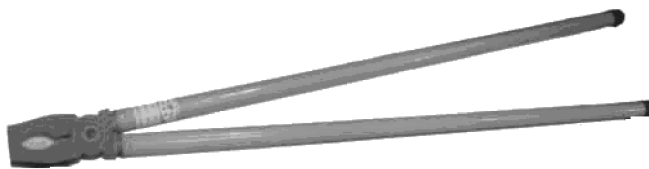


图 2-27 绝缘钳

时，应使用专门的防雨绝缘钳；绝缘钳一般不重，适用于一人操作使用，使用时，不能在绝缘钳上装设接地线，以免接地线在空中悬荡，碰触带电部分造成接地短路或人身触电事故。绝缘钳使用完毕后，应保存在专用的箱子里或匣子里，以免受潮和碰损。

2.3.7 标示牌

标示牌是一种安全标志设施，是指用来警告人们不得接近设备和带电部分，指示为工作人员准备的工作地点，提醒采取安全措施，以及禁止某设备或某段线路合闸通电的标示牌，如图 2-28 所示。悬挂标示牌的目的是为了提醒作业人员和有关工作人员及时纠正将要进行的错误操作或动作，指出正确的工作地点，警告他们不能接近带电部分，提醒他们采取适当的安全措施，或者禁止向有人工作的地点送电。标示牌宜用绝缘材料制作，其式样应符合安全规程的要求（见表 2-3）。布置标示牌的数目和地点应根据具体条件和安全工作的要求来决定。



图 2-28 安全用电标示牌

表 2-3 标示牌式样

名称	悬挂处所	式样		
		尺寸/mm	颜色	字样
禁止合闸， 有人工作！	一经合闸就能送电到操作施 工设施的开关操作把手上	200×100 和 80×50	白底	红字
禁止合闸， 线路有人工作！	线路开关和隔离开关把手上	200×100 和 85×50	红底	白字
在此工作！	室外和室内工作地点或施工 设备上	250×250	绿底，中有直径 210mm 白圆圈	黑字，写入白圆圈中
止步， 高压危险！	施工地点邻近带电设备的遮 栏上；室外工作地点的围栏上； 禁止通行的过道上；高压试验地 点；室外构架上；工作地点邻近 带电设备的横梁上	250×200	白底红边	黑字，有红色电符号
禁止攀登， 高压危险	工作人员或其他人员上下的 铁架、铁塔和台上	250×200	白底红边	黑字

2.3.8 防护栏

防护栏是防护工作人员误碰或接近带电部分的安全用具，有固定防护栏和临时防护栏两种，如图 2-29 所示。固定防护栏常用金属件焊接而成；临时防护栏可用干燥木材制成。临时检修用防护栏也可用绳子代替。防护栏的高度，一般户外不能低于 1.5m，户内不能低于 1.2m，下脚边缘离地面不应超过 0.1m，栏杆间净距离不大于 0.1m。防护栏上必须悬挂必要的标示牌。

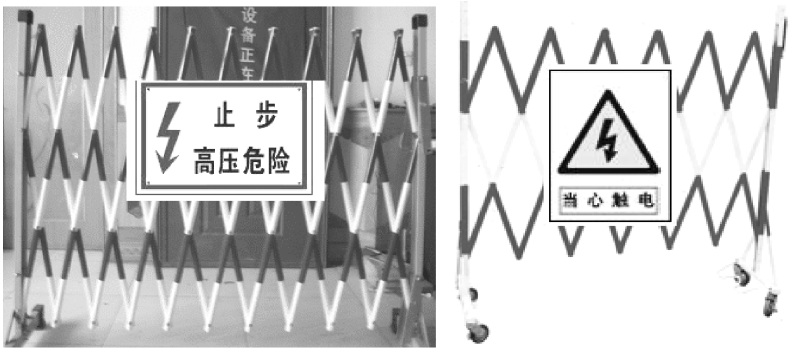


图 2-29 防护栏

2.4 常用电工测量仪表的使用

2.4.1 验电笔

验电笔是电工必备的工具之一，是用来检验导线和电气设备是否带电的工具，为了便

于携带和使用，低压验电笔往往会被做成笔形，因此被称为验电笔，也叫测电笔，如图 2-30 所示。

目前使用的低压验电笔主要有氖管发光指示式和数字显示式两种，验电笔的使用必须正确，否则可能会造成触电事故，如图 2-31 所示。



图 2-30 低压验电笔

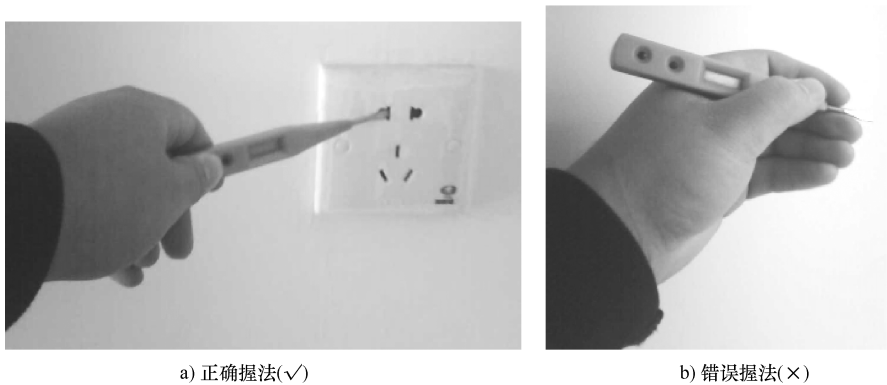


图 2-31 低压验电器的握法

在使用氖管发光指示验电笔时，要用食指触及笔尾的金属体，笔尖触及被测物体，使氖管小窗背光朝向自己。当被测物体带电时，电流经电笔、人体导向大地形成通电回路。带电体与大地之间的电位差超过 60V，电笔中的氖管就会发光，电压高发光强，电压低发光弱。

在使用数字式测电笔验电时，其握笔方法与氖管指示式电笔相同，并且电位差在 12 ~ 500V 之间时，电笔就能显示出来。

2.4.2 电压表

电压表也叫伏特表，是测量线路电压的仪表，表盘上标有“V”形符号，电压表按照量程不同可分为毫伏表（mV）、伏特表（V）、千伏表（kV）等。按照测量电压分有直流电压表和交流电压表两种，电压表的接线方法都是并联在被测电路中。

由于电压表是与被测电路并联接线的，所以为了不影响电路的工作状态，电压表的内阻一般都很大。大量程的电压表通常都串联一只电阻，使通过电压表的电流按比例减小，该电阻叫作倍率电阻。倍率电阻有的装在表内，也有的装在表外，与仪表配套使用，表盘上标有“外附电阻器”字样。外附电阻器是仪表的附件，没有它仪表就不能使用。

1. 直流电压表

测量直流电路的电压就要使用直流电压表，如图 2-32 所示。

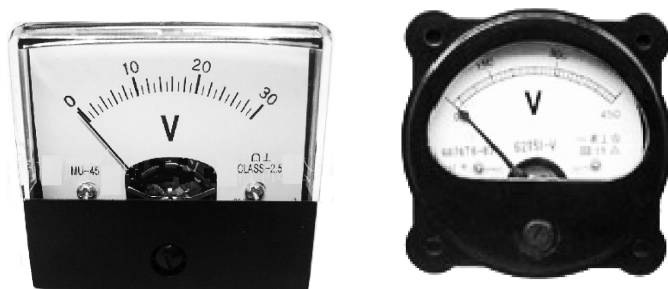


图 2-32 直流电压表

在使用直流电压表时要注意电压表的正负极性与被测电压的正负极性相对应，一旦接反指针就会反向偏转，损坏电压表。直流电压表的接线方法如图 2-33 所示。



图 2-33 直流电压测量线路

2. 交流电压表

测量交流电路的电压就要用到交流电压表，如图 2-34 所示。



图 2-34 交流电压表

交流电压表的接线方法如图 2-35 所示，接线时没有极性要求。

在高压线路中测量电压，由于不能用普通电压表直接测量，就应通过电压互感器将仪表接入电路中，如图 2-36 所示。电压互感器的一次绕组接到被测量的高压线路上，二次绕组接在电压表的两个接线柱上。为了测量方便，电压互感器一般都采用标准的电压比值，例如 6000/100V、10000/100V 等，其二次绕组电压总是 100V。所以，可用 0 ~ 100V 的电压表来测量线路电压。

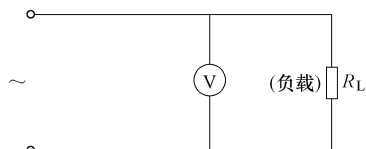


图 2-35 交流电压表的直接接入法

2.4.3 电流表

1. 直流电流表

直流电流表如图 2-37 所示，在使用直流电流表前，一定要分清仪表的极性和量程。一般在直流电流表的接线柱旁都会标有“+”和“-”两个符号，其中“+”接线柱接直流电路的正极，“-”接线柱接直流电路的负极，其接线方法如图 2-38 所示。



图 2-37 直流电流表

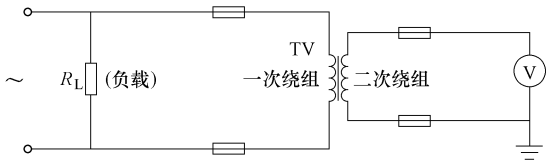


图 2-36 带有电压互感器的交流电压表接入法

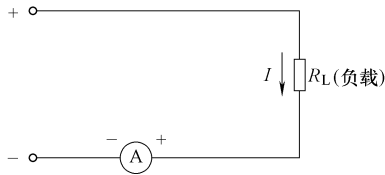


图 2-38 直流电流的直接接入法

由于直流电流表的线圈导线截面和游丝截面都很小，所以只能测量较小的电流，如果需要测量较大的直流电流，就要在电流表上并联一只分流器。分流器在电路中与负载串联，使通过电流表的电流只是负载电流的一部分，而大部分电流则从分流器中通过，这样就扩大了电流表的测量范围，其接线方法如图 2-39 所示。

量程较大的直流电流表，一般都附有分流器，并在表盘上标出“外附分流器”字样。接线时，要检查分流器与电流表表盘上所示的量程是否相符。如果不符，就不能使用。另外还有一点也要注意，从分流器接到电流表的定值导线，也是与仪表配套供应的，不能随意更换。如果分流器与电流表之间的距离超过了所附定值导线的长度，则可用不同截面和不同长度的导线代替，但导线电阻应在 $0.035\Omega \pm 0.002\Omega$ 以内。

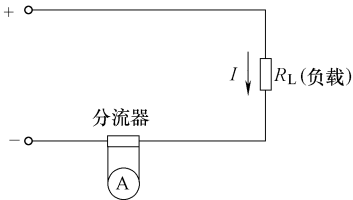


图 2-39 带有分流器的直流电流表接入法

2. 交流电流表

测量交流电路中的电流时就要用到交流电流表，如图 2-40 所示。其接线方法如图 2-41 所示。

当被测电路的电流超过了电流表的量程时，就要加装电流互感器，在使用电流互感器接线时必须注意端子极性，防止接错线，接线方法是电流互感器的一次绕组与电路中的负载串联，二次绕组接电流表。



图 2-40 交流电流表

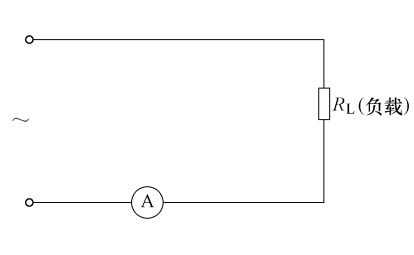


图 2-41 交流电流的测量线路

一只电流互感器与一只电流表的接线，如图 2-42 所示。这种接线方式用来测量单相负载电流或三相对称负载中的某一相电流。

三只电流互感器组成的星形联结（Y联结），如图 2-43 所示。该电路使用三只电流表和三只电流互感器测量三相线路中的每一相电流。

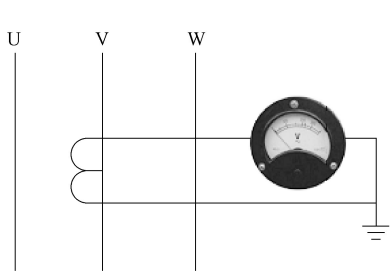


图 2-42 一只电流表与一只电流互感器的接线

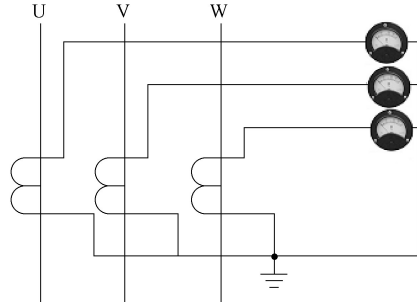


图 2-43 三只电流互感器组成的星形联结

2.4.4 电能表

电能表是用来计量用电量的仪表，俗称电度表，电能表的单位是 $\text{kW} \cdot \text{h}$ 。电能表分为单相电能表、三相电能表和无功电能表，近几年，电能表的发展很快，除了传统的机械式电能表外，还有电子式电能表、长寿命电能表等，如图 2-44 所示。



a) 三相电能表



b) 单相电能表



c) 电子式电能表



d) 长寿命电能表

图 2-44 电能表

机械式电能表具有价格低廉、过载能力强等优点，但易受温度、电压、频率等因素的影响。电子式电能表利用集成电路将采集到的电脉冲信号进行处理，具有准确度高、线性好、工作电压宽等优点。长寿命电能表是电力部门根据国外先进国家的电能表管理经验提出，具有一次性不失效、无修复的连续使用平均寿命 25 年以上，且能适应寿命期内负载自然增长要求的电能表。

在电能表的铭牌上标有额定电压、额定电流、标定电流（额定最大电流）、电源频率、准确度等级、电能表常数等参数。如果一只单相电能表的铭牌上标有如下参数： $\sim 220\text{V}$ 、 $5(20)\text{A}$ 、 50Hz 、 1.0 级、 $960\text{r/kW}\cdot\text{h}$ ，则说明该电能表的工作电压为 220V 、标定电流为 5A （额定最大电流 20A ）、电源频率 50Hz 、准确度等级 1.0 级（误差小于 $\pm 1\%$ ）、在额定电压下该表每走 $1\text{kW}\cdot\text{h}$ 铝盘转动 960 圈。

1. 电能表的选择

我们知道，在电能表表盘上有两个电流值（标称电流），如图 2-45 所示。其中一个在括号外，是额定电流，它表示电能表计量电能时的标准电流；另一个在括号内，是额定最大电流值，是指电能表长期工作在误差范围内所允许通过的最大电流，电能表可在额定最大电流内工作，但不能超过此电流长期使用。电能表容量选择过大或过小都会造成计量不准，容量过小还会烧毁电能表，影响正常供电，所以一定要谨慎地选择电流表的额定电流。

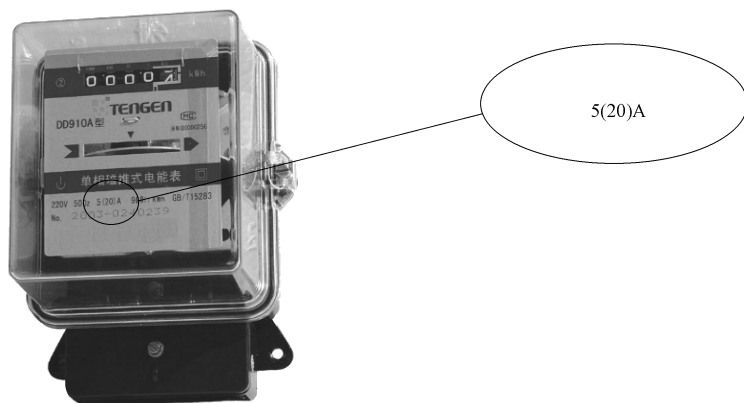


图 2-45 电能表上标注的电流值

(1) 单相电能表额定电流的选择 对于一般居民用电，由于用电设备中的电热负载较多，如果知道负载的功率，将功率数除以 200 即为负载电流，同一回路上各用电器的电流等于其总功率除以 200。单相电能表的额定电流可按 2 倍的功率（ kW ）计算，这是因为用电器一般不会同时使用，新型电能表又都有 4 倍左右的过载能力。

例如已知某单相用户用电设备的总功率为 2.5kW ，试选择合适的电能表？

根据上面的解说，电能表的额定电流应为 2 倍功率即 5A ，所以可选择标称电流为 $5(20)\text{A}$ 的单相电能表。

(2) 三相四线电能表的选择 三相四线有功电能表实际上是三只单相电能表的组合。所以负载平衡时，可计算出单相负载功率，然后按单相电能表的选择方法来选配电能表。

如某三相负载的总功率为 7.5kW，则单相负载功率为 2.5kW，根据单相电能表的选择方法，电能表的额定电流为 2 倍功率即 5A，所以可选择标称电流为 3×5（20）A 的三相四线制电能表。

2. 电能表的接线

（1）单相电能表的直接接线线路 如果线路负载不超过单相电能表的最大电流，可将单相电能表直接接于线路上测量，如图 2-46 所示。

接线时，电压、电流线圈标有“·”或“*”的一端应接在电源一端，另一端应接在负载端。单相电能表接线盒有 4 个接线端子，从左到右依次为 1、2、3、4，其中相线的进线接线端子 1，中性线进线端子 3，中性线出线接端子 4，相线与中性线不可接反。另外在端子 1、2 之间有一附加端子，它是表内电压线圈的端子，通过一个电压连片（电压小钩）与端子 1 相连，此电压连片不可拆开。

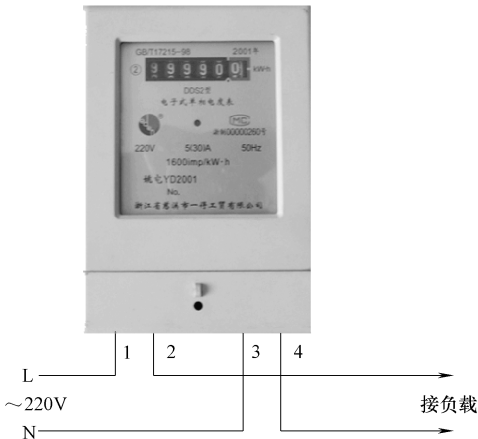


图 2-46 单相电能表的接线

（2）单相电能表经电流互感器的接线线路 如果被测线路电流超过电能表的最大量程，则要通过电流互感器来扩大量程，其常用接法有两种。

如图 2-47a 所示的接法，电流互感器一次侧串联于被测电路，相线的进线接 L1 端，相线的出线接 L2 端，这样通过电流互感器的一次电流就是被测电路的实际电流；同时 1 号端子应与相线连接，以提供电能表计量所需的电压；但由于电压连接片没有拆开，电流互感器二次侧的 K2 不能接地，否则会烧坏电能表。

如图 2-47b 所示的连接法，电流互感器二次的 K1 接在 1 号端子，K2 接在 2 号端子，由于已将电压连接片拆开，1、2 间的附加端子应接电源相线的 L1 端，以提供电压线圈工作所需的电压，同时电流互感器二次侧的 K2 应接地，以保证电流互感器及用电线路的安全。

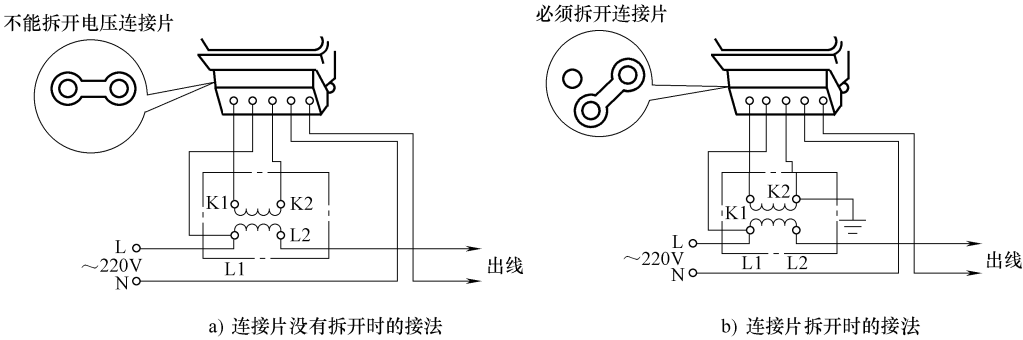


图 2-47 单相电能表经电流互感器接线线路及接线方法

因电能表的电压绕组和电流绕组是有极性的，故上述两种接法，电源相线输入端 L1、L2 与二次侧 K1、K2 的首端和尾端不能接错，即将两个绕组的同极性端与电源电压、电流的两个同极性端相连，电能表才能正常运转，否则电能表会倒转。

经电流互感器接线的电能表，用户实际使用的电量为电流表读数乘以电流互感器电流比。例如，一个月内，额定电流为 5A 的电能表显示的用电量为 $25\text{kW} \cdot \text{h}$ ，电流互感器的电流比为 $200/5 = 40$ ，则该用户本月实际用电量为 $40 \times 25\text{kW} \cdot \text{h} = 1000\text{kW} \cdot \text{h}$ 。

(3) 三相四线制电能表直接接线线路及接线 在低压线路中，如果线路的负载电流不大于电能表的量程，可将三相四线制电能表直接接在被测线路上，其接线线路方法如图 2-48 所示。

(4) 三相四线制电能表经电流互感器的接线线路及接线 测量三相四线制线路的电能时，由于线路电流大，电能表不能直接接入线路，所以必须通过电流互感器，将大电流转换为小电流，并将电流互感器二次绕组可靠接地。其接线线路如图 2-49 所示。

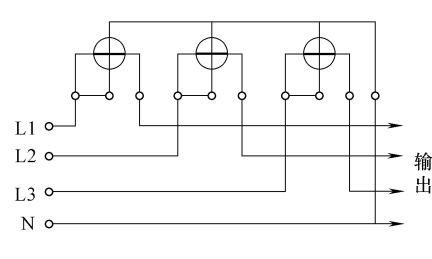


图 2-48 三相四线制电能表直接接线线路

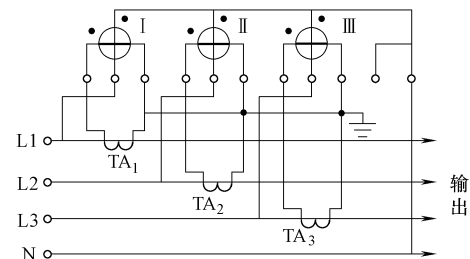


图 2-49 三相四线制电能表经电流互感器的接线线路

2.4.5 万用表

万用表又称多用表、复用表，是一种多功能、多量程的测量仪表，现在的万用表有指针式和数字式两大类。

1. 指针式万用表

指针式万用表（见图 2-50）的最大好处是能够直观地看到被测量的变化过程和状况，而且功能可靠，价格较低。

指针式万用表大多是由指示部分、测量电路、转换装置三部分组成的。使用前，应认真阅读使用说明书，熟悉万用表表盘，了解表盘上每条刻线所对应的测量值含义。

在使用万用表以前应对插孔和指针进行必要的检查。首先将红表笔插头插入“+”孔内，黑表笔插入“-”孔内，并将万用表置于 $R \times 1$ 档，短接两表笔，测

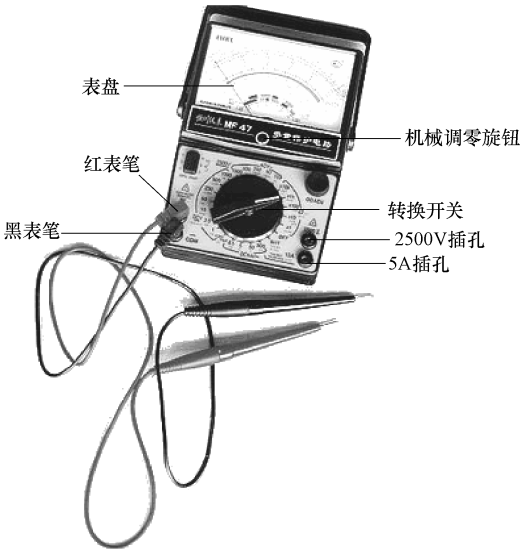


图 2-50 各种指针式万用表

试两表笔是否断路（因为断路时表针不动）。然后再用机械调零钮将表针调零，最后检查电池是否还能继续使用。

在使用万用表测量时，要用右手握住两只表笔，手指不能触及表笔的金属部分和被测元器件，正确的握笔方法如图 2-51a 所示，而图 b 的握笔方式是错误的。

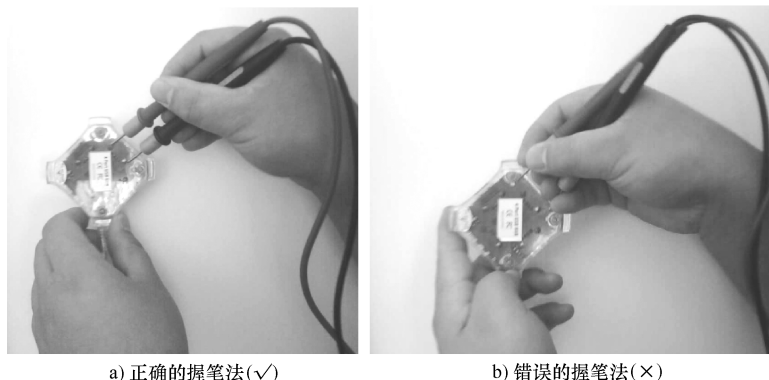


图 2-51 万用表的握笔方法

在使用万用表测量时，禁止在被测件通电测量的状态下转动量程开关，如在测量电压、电流时，不切断电源就改变万用表量程是不允许的，因为在带电情况下转动量程开关，会产生电弧，使开关触头损坏！这一点一定要注意，因为在实际工作中，很多人都会为了图省事而进行这种错误的操作。

当能够熟练使用万用表后，就要逐渐养成单手操作的习惯，因为如果是双手操作，一旦手触及带电部分，就会在两手间形成电压而产生电流，使人触电。

另外，万用表的极性不要接错，用指针式万用表测量直流电压、直流电流时，一定要将红表笔接电路中的高电位，黑表笔接低电位。如果接反，万用表指针会向方向偏转，无法进行测量，严重时可能损坏万用表。

使用指针式万用表测量前，一定要对被测量进行一次大体的估算，然后选择一个合适的档位。如果无法估计被测量的大小，就要从最大档开始测量。一定要避免因被测量过大而使指针迅速向右偏转，把指针碰弯或烧坏万用表。

万用表不用时，要将转换开关拨到大电压档，这样既能减小电池损耗，还能防止下次使用时，因忘记转换档位而损坏万用表。如果长期不用万用表，最好将电池取出来保存。

指针式万用表的使用：

1) 电流的测量：用指针式万用表测量电流时，表笔应与被测线路（或设备）串联，并根据被测量的大小选择合适的档位。但是一般的指针式万用表电流档的量程往往只有 500mA，所以测量大电流时就需要安装一些辅助设备来扩大电流表的量程。

测量直流电时，如图 2-52 所示，红表笔与断点处的正极性相连，黑表笔与断点处的负极性相连。测量交流电流时红、黑表笔可互换位置，即不分正、负极性，如图 2-53 所示。在测量交、直流电流时不能在通电的情况下转换档位。

2) 电压的测量：用指针式万用表测量电压时，表笔应与被测线路（或设备）并联，

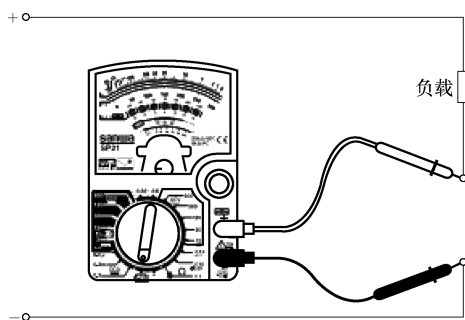


图 2-52 直流电流的测量

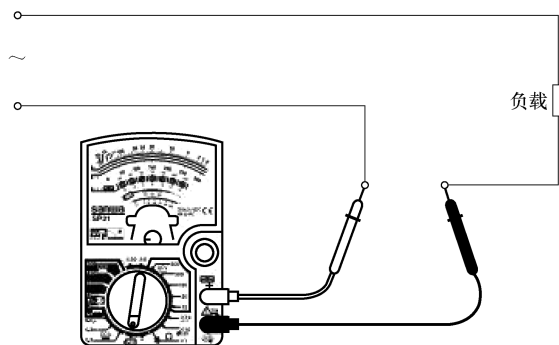


图 2-53 交流电流的测量

并根据被测量的大小选择合适的档位。

直流电压的测量如图 2-54 所示，先将转换开关旋到“V”档，测量时，黑色表笔应与电源的负极相触，红色表笔应与电源的正极相触，两者不可颠倒。如果一时分不清电源的正负极，则可以选择一个较大量程的测量档，将两支表笔快触一下测量点，观察表针的指向，找出被测电压的正负极。

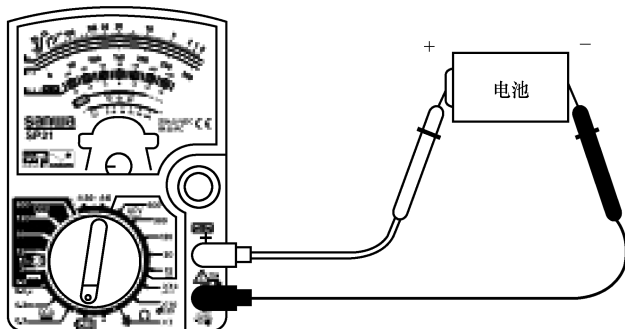


图 2-54 直流电压的测量

交流电压的测量如图 2-55 所示，测量前，先将转换开关旋到标有“V”符号处，并将开关置于适当量程档，然后手握黑色表笔和红色表笔的绝缘部位，先用黑色表笔触及一相带电体，再用红色表笔触及另一相带电体或中性线，读取电压读数后，使两支表笔脱离带电体。

3) 电阻的测量：使用万用表测量电阻时，要先选择合适的档位，一般万用表设有 $R \times 1$ 、 $R \times 10$ 、 $R \times 100$ 、 $R \times 1k$ 和 $R \times 10k$ 等几个档位，只要将转换开关拨至某一需要的档位就可以了。

调零是使用万用表的欧姆档不可缺少的步骤，否则会使测量误差增大。调零的方法是先万用表的黑、红表笔短接，然后调节万用表的调零旋钮，使表针指示在欧姆刻度线的 0Ω 位置上。当改变量程时，要重新调零。万用表的调零要快速，否则会消耗过多的表内电池能量。如果表针总是在 0Ω 线的左侧，这说明表内的电池电压已较低，最好更换新电池，然后再次调零。

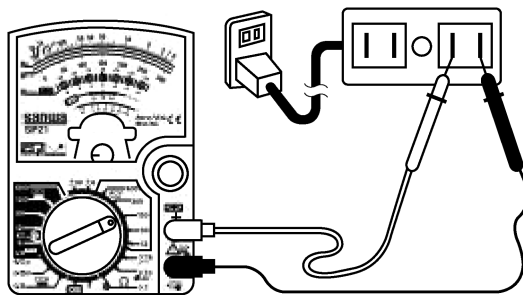


图 2-55 交流电压的测量

使用指针式万用表测量电阻的方法如图 2-56 所示，测量时只要将万用表红、黑两表笔接触被测元器件的两端点就可以了。

万用表指针在欧姆刻度线上的读数与使用的量程倍率的乘积就是被测的电阻值。例如，测量某电阻值时，万用表指针示数为 12，量程倍率是 $R \times 1$ ，那么这个电阻的阻值就是 12Ω ；再比如在量程倍率为 $R \times 1k$ 测得的指示数为 8，那么这个电阻的阻值为 $8k\Omega$ 。

在读数时，还有一点应该注意，由于欧姆刻度线的刻度不是均匀的，所以每一个小格所表示的数值也是不一样的。

2. 数字式万用表

数字万用表具有用途多、量程广、使用方便等优点，是电子测量中使用最多的工具之一。它不仅可以用来测量被测量物体的电阻、交直流电压还可以测量直流电压。大多数数字万用表还可以测量晶体管的主要参数以及电容器的电容量等。充分熟练掌握数字万用表的使用方法是电子技术的最基本技能之一，如图 2-57 所示是常用的数字万用表外形。

虽然数字式万用表的种类很多，但其控制面板的标识符号、文字符号的含义是基本相同的，读者可以参考表 2-4 来了解其基本意义。

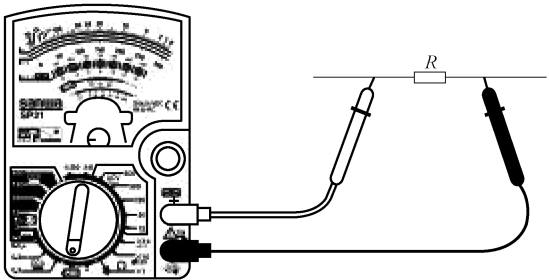


图 2-56 电阻的测量



图 2-57 数字式万用表

表 2-4 数字式万用表常用标识符号、文字符号的意义

标志符号、文字符号	基本意义	标志符号、文字符号	基本意义
RANGE	量程键	CAL	校准
RH	量程保持	AC/DC	交流、直流选择键
FUNCTION	功能键	AUTO-MAN RANGE	自动/手动转换量程
MEM	存储键	AUTO,AR,AUTO-RANGE	自动转换量程
RST	复位键	MAN RANGE	手动转换量程
MEM RCL	读存储数据键	DCV	直流电压档
PRINT	打印键	DCA	直流电流档
HOLD、  、DH、DATA	读数(显示值)保持开关(保持键)	ACV	交流电压档
SET	预置键	ACA	交流电流档
ADJ	调整旋钮	Ω 、OHM	电阻档
AUTO CAL	自动校准	C、CAP	电容档

(续)

标志符号、文字符号	基本意义	标志符号、文字符号	基本意义
T、TEMP	温度档	SLEEP MODE	休眠模式(备用状态)
F、f、FREQ	频率档	LCD	液晶显示器
ZERO ADJ	电容档手动调零旋钮	V/ Ω	电压/电阻插孔
H Ω	高阻档	C(K TYPE)	温度测量插孔
L Ω	低阻档		超量符号(超量程时在最高位出现)
G	电导档	UR、UNDER	欠量程
·)))	蜂鸣器档	OL	过载(超量程)
BZ	蜂鸣器	AP	自动极性显示
AUTO OFF POWER	自动关断电源	R MS	有效值(方均根值)
COM	接黑表笔	AV、AVG	平均值
F/V/ Ω (FV Ω)	频率、电压、电阻测量插孔	Δ	相对值测量标志符
h_{FE}	晶体管电流放大倍数测量插孔	$\triangle$	注意!应参照说明书操作
Hz	频率测量插孔	$\leq$	危险!此处可能出现高压
mA	电流测量插孔	—	负极性显示标志符

数字式万用表的使用:

1) 直流电压的测量:图 2-58 所示为直流电压的测量方法,虽然数字式万用表有自动转换极性的功能,但最好还是用红表笔接被测电压的正极,黑表笔接被测电压的负极,这样可以减小测量误差。

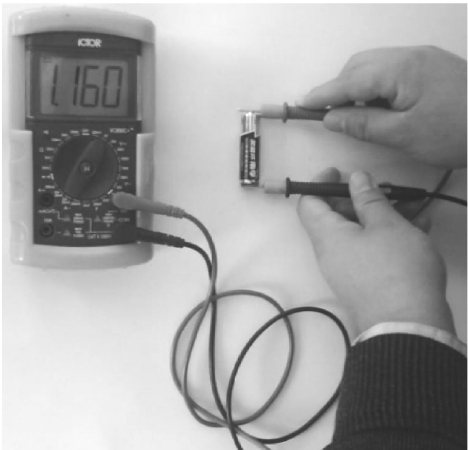


图 2-58 直流电压的测量

测量时,首先将红表笔插入 V/ Ω 插孔,黑表笔插入 COM 插孔,然后将量程开关置于“V”(或 DCV 档)范围内合适的测量档位上,这样就可以进行测量了。

2) 交流电压的测量:在使用数字式万用表测量交流电压时,为了消除万用表输入端对地分布电容的影响,减小测量误差,最好把黑表笔接到被测电压的低电位端,像 220V 的零线端,被测交流信号的公共端等。

测量时,首先将红表笔插入 V/ Ω 插孔,黑表笔插入 COM 插孔,然后将量程开关置于“V”(或 ACV 档)范围内合适的测量档位上,这样就可以进行测量了,如图 2-59 所示。

- 3) 电阻的测量:使用数字式万用表测量电阻的方法如下:
- ① 测量电阻时,被测电路必须要停电,若是带电测量很容易损坏仪表。电阻档量程的大小要根据被测值的大小进行合理的选择,在测量时,如果显示器显示的数字是“1”,则表明被测量已经超过了所需的量程,此时要重新调整后再进行测量。
 - ② 使用 200 Ω 电阻档测量电阻时,应先将两支表笔短路,测出两支表笔的引线电阻值,

如图 2-60 所示,然后再进行电阻测量,每次测量的实际电阻值就是显示器的显示数值再减去表笔引线电阻值。而使用 200Ω 以上的电阻档测量时,其引线电阻值则可以忽略不计。



图 2-59 交流电压的测量



图 2-60 测量表笔引线电阻值

③ 在测量电阻时,两只手不能同时碰触两表笔的金属部分,特别是测量元器件的电阻时,更不能用手同时捏住两引脚,否则将会引入人体电阻,严重影响测量结果。另外,在测量电阻时,应检查表笔插头与插孔之间接触是否紧密,要防止接触不良现象的发生,以免影响测量结果。

④ 使用 $2M\Omega$ 或以上电阻档时,显示器的显示值将会出现跳跃现象,要经过几秒钟才能稳定下来,应该等数值稳定后才能读取数值。

⑤ 使用 $200M\Omega$ 电阻档时,由于该档存在 $1M\Omega$ 的固有零点误差,所以测量的实际值应是显示器的读数减去固有零点误差。比如 $3\frac{1}{2}$ 位数字式万用表的零点误差是 10 个字,若是测量某电阻值是 $201.0M\Omega$,那么其实际阻值就是 $200.0M\Omega$ 。

⑥ 测量电阻时,应将红表笔插入 V/Ω 插孔,黑表笔插入 COM 插孔,将量程开关置于“ Ω ”的范围内并选择所需的量程开关,检测时只需将两支表笔分别接在被测元器件的两端或电路的两端即可,如图 2-61 所示。

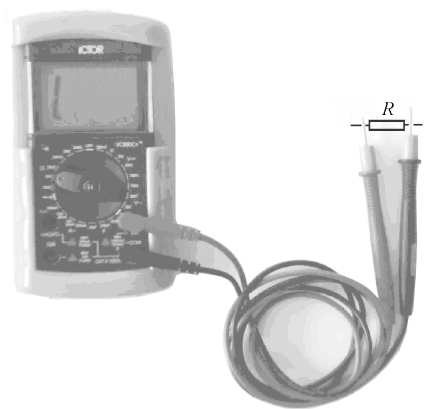


图 2-61 电阻的测量



图 2-62 二极管的检测

4) 二极管的检测：用数字万用表检测二极管的方法如下（见图 2-62）：

- ① 用数字万用表检测普通二极管时，要用红表笔接被测二极管的正极，黑表笔接被测二极管的负极。
- ② 测量时，如果被测二极管是正常的，当正向偏置时，硅二极管应有 0.5 ~ 0.7V 的正向压降，锗二极管应有 0.15 ~ 0.3V 的正向压降。反向偏置时，硅二极管与锗二极管均使万用表显示溢出符号“1”。
- ③ 测量时，如果被测二极管已经被短路击穿，在正反向偏置时万用表均显示“000”；如果被测二极管内部已经开路，在正反向偏置时万用表均显示符号“1”。

2.4.6 钳形电流表

通常用普通电流表测量电流时，需要将电路切断停机后才能将电流表接入进行测量，这是很麻烦的事，有时正常运行的电动机不允许这样做。此时，使用钳形电流表就显得方便多了，可以在不切断电路的情况下测量电流。现在使用的钳形电流表主要有指针式和数字式两种，见图 2-63 所示。主要功能是在不断开回路的条件下测量交流回路的电流，有些还能测量交流电压。它是由开口的电流互感器和表头组成的。

1. 钳形电流表的结构

钳形电流表主要是由开合的铁心及扳手、测量选择开关、欧姆档调零旋钮、表头、表笔插孔腕带等部分组成的，见图 2-64 所示。



图 2-63 钳形电流表

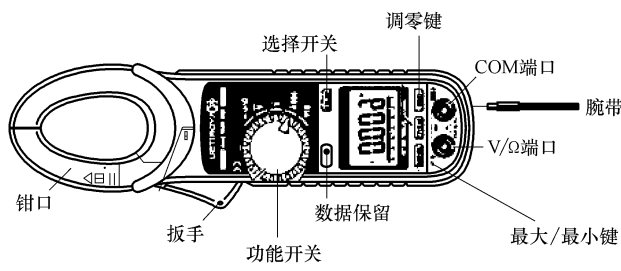


图 2-64 钳形电流表的基本结构

表头的下边中间有一个机械调零器，用以校准表针的机械零位。表头标度盘上共有 3 条刻度线，从上往下依次是，交流电流刻度线（黑色）、交流电压刻度线（红色）、电阻刻度线（绿色）。表头右上方是测量选择开关，选择量程档位时拨动旋钮即可，从窗口可

看见所选量程档位的指示。

当然，钳形电流表最显著的特征还是表体前端能够开合的铁心，专门用于测量交流电流，如图 2-65 所示。铁心由右侧的固定部分和左侧的活动部分组成，当用力按下表体左前端的扳手时，活动铁心即张开，以便嵌入被测导线。

2. 钳形电流表的使用方法

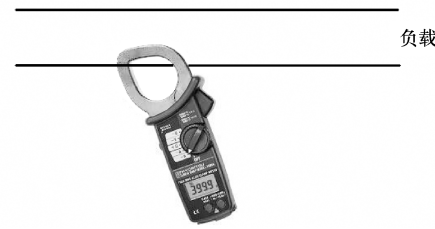
钳形电流表在使用前，首先应检查表针是否指在机械零位上，即表针在静止时，是否准确指在刻度线最左边的“0”位上。如果不在，应按图 2-66 所示，用小螺钉旋具缓慢旋转表头下边的机械调零器，调节表针的静止位置使其准确指“0”。



图 2-65 钳形电流表活动钳口的操作方法



图 2-66 钳形电流表的调零



a) 正确(✓)

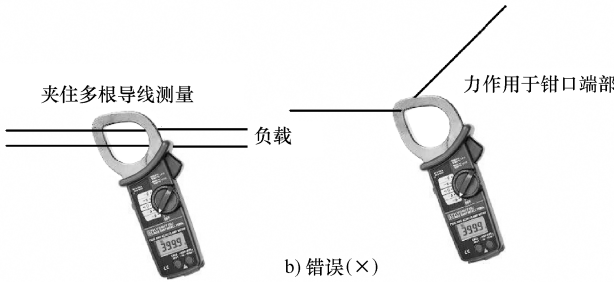


图 2-67 用钳形电流表测量交流电流

(1) **交流电流的测量** 钳形电流表测量交流电流是用活动的钳口进行测量，因无需表笔。拨动钳形电流表上的测量选择开关至交流电流测量的合适量程，如暂时无法估计被测电流则应选择最大量程，然后根据测量结果在逐步降低量程。测量时，按下扳手使铁心钳口张开，如图 2-67 所示嵌入被测导线，并尽量使被测导线位于铁心钳口的中央且垂直于钳口平面，然后松开扳手使铁心完全闭合后，表针即指示出被测电流的数值。如果指示值太小（表针偏转太少），说明量程过大，可转换至较低量程后重新测量，以读取更加准确的读数。转换量程必须在非测量状态进行，即应先将被测导线退出铁心钳口，才能拨动测量选择开关转换量程。

测量时还应注意，每次只能嵌入一根导线（比如一根相线或一根中性线均可）。对于双绞线，应将其分开，然后嵌入其中的一根导线进行测量。对于双股护套线或多股电力电缆，则需切开最外面的绝缘护套层，分开立面的各股导线，再嵌入其中的一根导线进行测量，如图 2-68 所示。

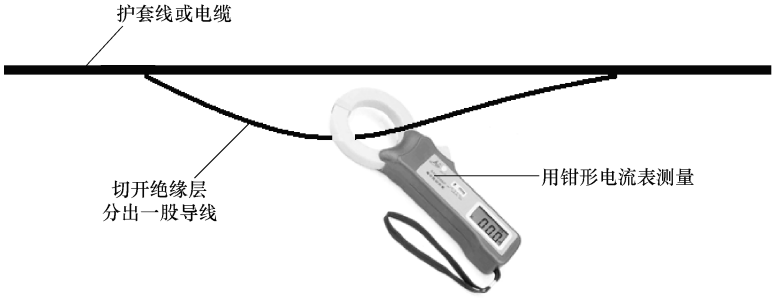


图 2-68 用钳形电流表测量护套线或电缆电流的方法

当被测电流很小、表针指示数小于刻度线的“1”时，已不能准确读数。这时可将被测导线绕线圈后套在钳口铁心上进行测量，这时将测得的读数除以被测导线穿过铁心钳口的次数，即为被测导线的实际电流值，如图 2-69 示例中，被测导线 3 次穿过铁心钳口（绕了两圈），选用最小一级量程，表针指示数为“1.2”，则该被测导线的实际电流值为 $1.2\text{ A} \div 3 = 0.4\text{ A}$ 。

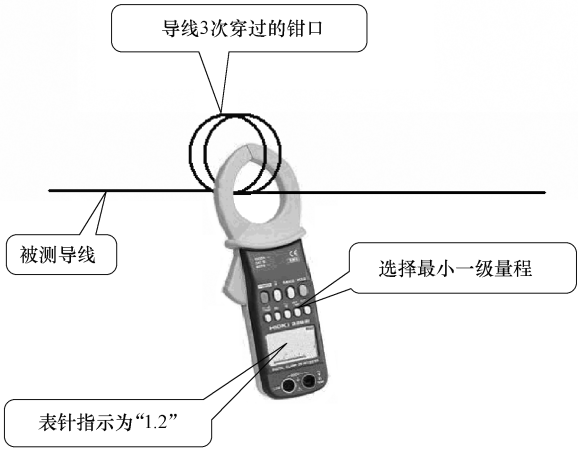


图 2-69 测量小电流的方法

(2) **交流电压测量** 测量交流电压或电阻均需要表笔，测量前应首先将红、黑表笔插入钳形电流表左侧的两个表笔插孔中（不分正、负）。

测量方法与使用万用表相似。根据被测电压的估计值，拨动钳形电流表上的测量选择开关至交流电压“300V”或“600V”档，将两表笔接触被测电压两端进行测量，如

图2-70 所示。

交流电压两档位共用一条“ACV”刻度，刻度线满度值为“300”。读数时，如使用的是“300V”档，则表针指示数即为被测电压读数；如使用的是“600V”档，则需将表针指示数为“110”，如在“300V”档则电压读数为 110V，如在“600V”档则电压读数为 220V。

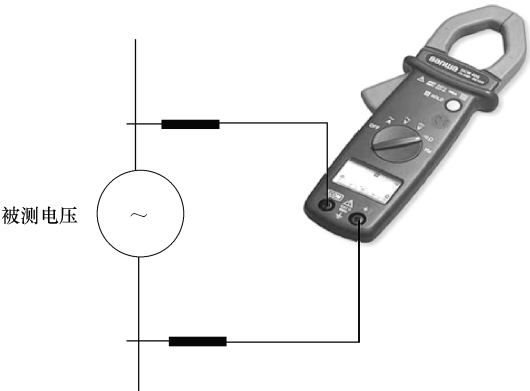


图 2-70 用钳形电流表测量交流电压的方法

2.4.7 绝缘电阻表

绝缘电阻表是测量电器设备绝缘电阻的重要仪表，因其表盘上刻度读数的单位是“兆欧”所以原称兆欧表。绝缘电阻表又分为指针式和数字式两大类，如图 2-71 所示。



a) 指针式



b) 数字式

图 2-71 绝缘电阻表

绝缘电阻表的使用方法如下：

1) 在使用绝缘电阻表前，必须对仪表进行一次必要的外观检查，其接线端子应完好无损，表盘刻度要清晰，玻璃罩应完好；表针应无扭曲，平放时表针应偏向“∞”一侧，水平方向摆动时表针应随之摆动无任何障碍。

2) 绝缘电阻表的短路试验：如图 2-72 所示，在仪表停转的情况下，将 L 与 E 两接线柱短接，缓慢

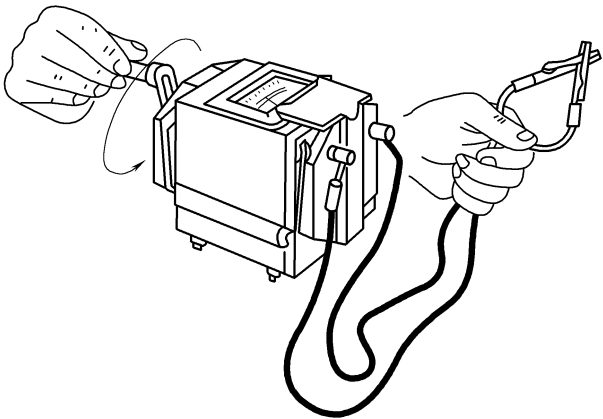


图 2-72 绝缘电阻表的短路试验

转动摇柄，如果表针指在“0”位，表示正常，否则应进行必要检修。

3) 绝缘电阻表的开路试验：如图 2-73 所示，将绝缘电阻表水平放置，未接线或 L、E 两端子的测试线处于开路状态下，摇动手柄有手沉感，转动摇柄至额定转速，如表针指在“ ∞ ”附近，则说明绝缘电表基本正常，否则应进行必要的检修。

4) 检查绝缘电阻的引线是否合格，最好使用专用测试线，如果没有专用线，可使用绝缘良好的两根单芯多股软线，不能使用双股麻花线、平行线，禁止将两根引线缠绕或靠在一起使用。

5) 接好绝缘电阻的接线柱：E—接地；L—接线路；G—接屏蔽环。在接线时，应将被试电气设备的通电部分接在 L 上，被测物的接地端或机壳与绝缘电阻表的 E 连接，被测设备的保护屏蔽部分或其他不参与测量的部分接在 G，以消除测量误差。

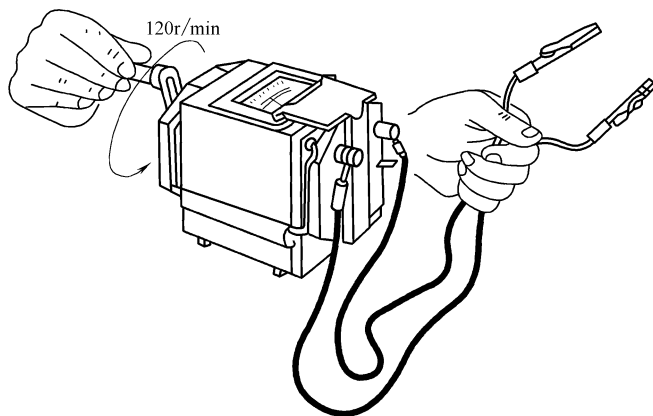


图 2-73 绝缘电阻表的开路试验

6) 不要在雷雨时使用绝缘电阻表，被测物的表面应擦干净，如果被测物内有可燃性气体还应放尽，以免引起爆炸。对电容器、大型变压器、电缆等电容量较大的设备还需对地充分放电；对供电线路则要经过验电，在有可能产生感应电压的线路上测量绝缘前，另外一条线路也必须停电。测量电子成套设备的绝缘电阻时，应将连接回路与电子控制单元分开，电子控制单元要用万用表的欧姆档测量检查（由于电子元器件的耐压低），连接回路用绝缘电阻表测量。

另外，绝缘电阻表的放置要平稳，摇动手柄时应由慢到快，转速不能时快时慢，当达到 120r/min 时应保持稳定，转速稳定后，表盘上的指针才能稳定，表针的指示就是测得的绝缘电阻的阻值。

还有，如果被试设备在户外较高的构架上，邻近有其他带电设备时，要注意将试验引线固定好，以免试验时引线被风刮到邻近的带电设备上造成事故。

7) 为了提高测量的准确度，要根据被测对象的额定电压，选择不同电压等级的绝缘电阻表，可以参考表 2-5。一般低压电器设备可选用 0 ~ 20M Ω 量程的表，高压电器设备或电缆、线路可选用 0 ~ 200M Ω 量程的表。刻度从 1M Ω 或 2M Ω 起始的绝缘电阻表不宜测量低压电气设备的绝缘电阻。

表 2-5 绝缘电阻表的选择

被测对象	被测设备额定电压/V	绝缘电阻表的额定电压/V
线圈绝缘电阻	500 以下	500
	500 以上	1000
电力变压绕组、电机绕组的绝缘电阻	500 以上	1000 ~ 2500
发电机绕组的绝缘电阻	500 以下	1000
电气设备的绝缘电阻	500 以下	500 ~ 1000
	500 以上	2500
绝缘子(瓷瓶)		2500 ~ 5000

8) 使用绝缘电阻表测量线路的对地绝缘电阻时，其接线方法如图 2-74 所示。
使用绝缘电阻表测量电机对地绝缘电阻时，其接线方法如图 2-75 所示。

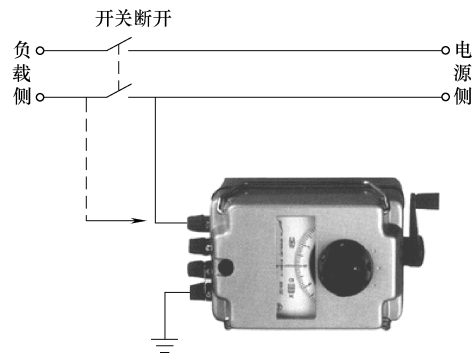


图 2-74 用绝缘电阻表测量
线路对地绝缘电阻

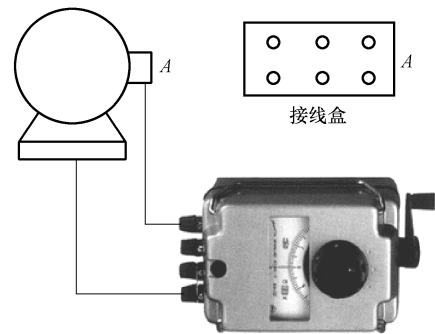


图 2-75 用绝缘电阻表测量电机对地绝缘电阻

使用绝缘电阻表测量电缆的绝缘电阻时，其接线方法如图 2-76 所示。

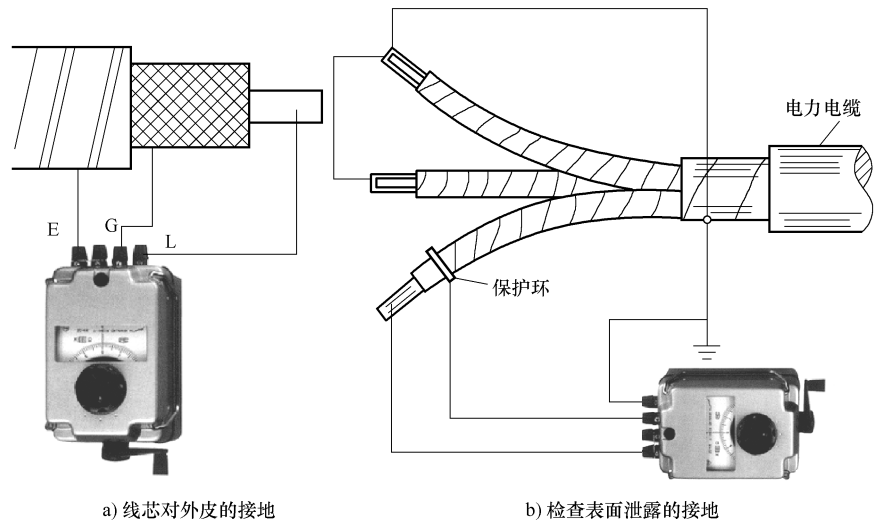


图 2-76 用绝缘电阻表测量电缆绝缘电阻

使用绝缘电阻表测量电容器的绝缘电阻的方法是，用表的 E 接线柱接电容器的金属外壳，用裸导线将所有出现瓷套管缠绕后接表的 G 接线柱，用绝缘夹钳夹起 L 线，把绝缘电阻表的手柄摇到 120r/min 时，就可以将 L 线搭接在任一电极上，等指针稳定后就可以读数了。应当注意的是，只能测试电容器的极对地的绝缘电阻，不能测量极与极之间的绝缘电阻，因为电容器的极间摇测，实际上是对电容器充电，无法测量其绝缘电阻。

9) 测量期间，由于绝缘电阻手摇发电机能产生几百伏甚至几千伏的直流电压，所以千万不能用手触摸表的接线端钮和测试端。

10) 绝缘电阻表用完后应存放在干燥常温下，以免内部绕组或零件受潮腐蚀而损坏。

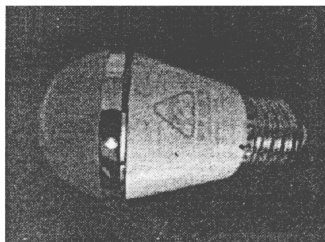
3.1 常用电气照明设备安装技巧

3.1.1 白炽灯与 LED 灯

白炽灯，如图 3-1a 所示。白炽灯的发光原理是将灯丝通电加热到白炽状态，利用热辐射发出可见光的电光源。白炽灯具有结构简单、使用可靠、安装方便、价格低廉等优点。缺点是发光效率低、寿命短一般仅有 1000h、能耗高，所以将被节能灯和 LED 灯取代。一支 3W 的 LED 灯的亮度相当于 25W 的白炽灯，且寿命是白炽灯的数倍（见图 b）。



a) 白炽灯



b) LED灯(球泡灯形)

图 3-1 白炽灯和 LED 灯外形

1. 灯头盒的安装

灯头盒的安装步骤如图 3-2 ~ 图 3-9 所示。

2. 螺口灯头的安装

螺口灯头的安装步骤如图 3-10 ~ 图 3-15 所示

3.1.2 荧光灯

荧光灯如图 3-16 所示，是应用最广的气体放电光源。具有发光效率高、寿命长、光色柔和等优点，但是功率因数低、附件多。荧光灯广泛用于照度要求较高的室内照明。



图 3-2 准备好圆木和灯头盒

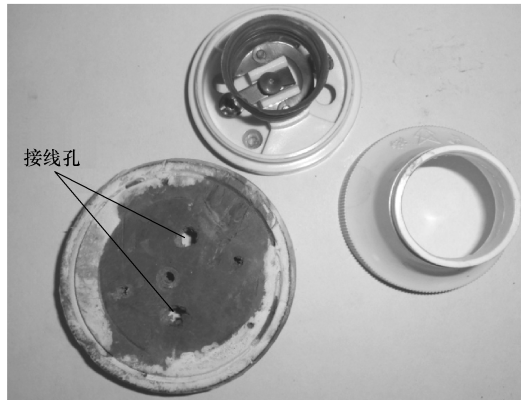


图 3-3 拆开灯头盒并在圆木上钻好接线孔

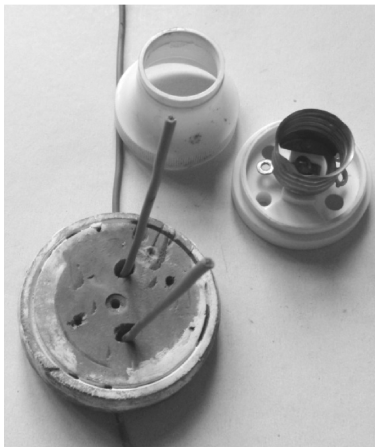


图 3-4 将电源线穿入圆木并固定在安装位置

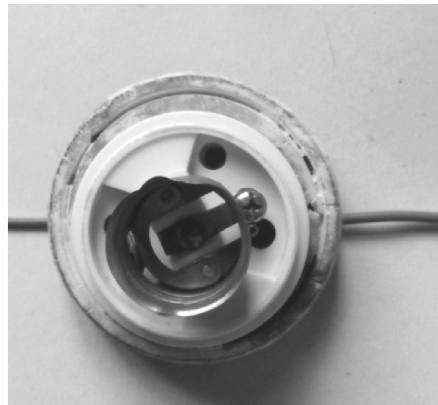


图 3-5 将灯头盒固定在圆木上



图 3-6 将电源线正确地压接在灯头盒上

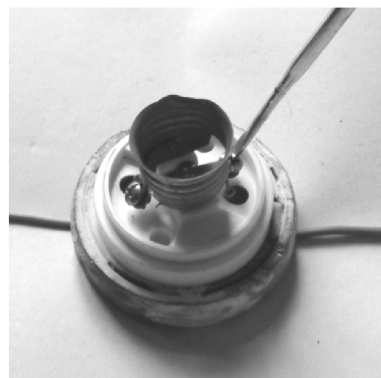


图 3-7 相线接中心弹簧片，中性线接螺口接线柱

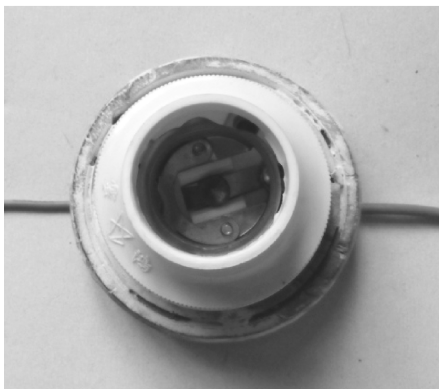


图 3-8 装上灯头盒盖

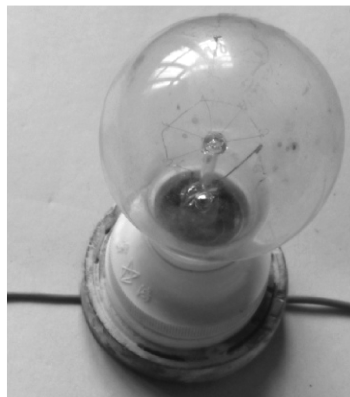


图 3-9 安装白炽灯（或节能灯、LED 灯），检查合格后通电试灯

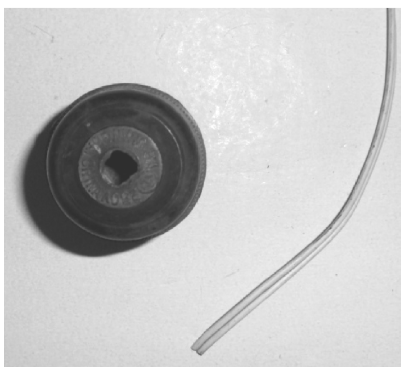


图 3-10 准备好螺口灯头和电线



图 3-11 打开螺口灯头盖穿入电源线

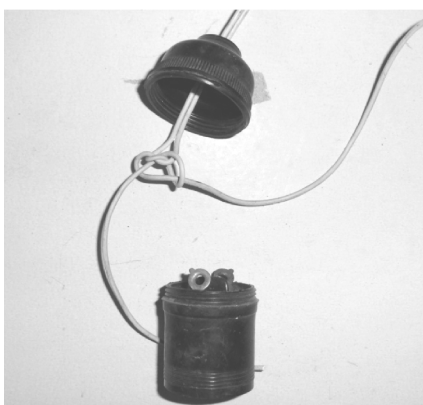


图 3-12 将电源线打一个电工结



图 3-13 剥开线头绝缘并压接在接线柱上



图 3-14 接线合格后，装上螺口灯头盖

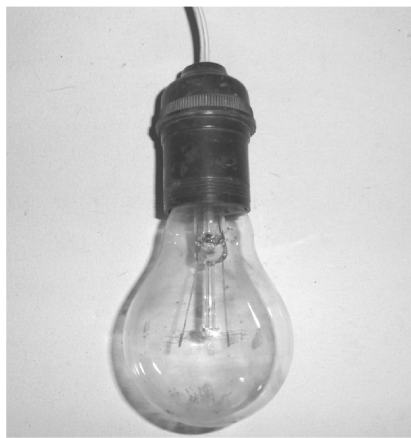


图 3-15 装好白炽灯（或其他电灯）



图 3-16 荧光灯

荧光灯的安装：

(1) 准备灯架

根据荧光灯管的长度，购置或制作与之配套的灯架。

(2) 组装灯具

荧光灯灯具的组装，就是将镇流器、辉光启动器（启辉器）、灯座和灯管安装在灯架上，如图 3-17 所示。组装时必须注意，镇流器应与电源电压、灯管功率相配合，不可随意选用。由于镇流器比较重，又是发热体，应将其扣装在灯架中间或在镇流器上安装隔热装置。启辉器规格应根据灯管功率来确定。启辉器宜装在灯架上便于维修和更换的地点。两灯座之间的距离应准确，防止因灯角松动而掉落。吸顶灯架应留有空隙，以便通风。

接线方法是，启辉器座上的两个接线端分别与两个灯座中的一个接线端连接，余下的接线端，其中一个与电源的中性线相连，另一个与镇流器的一个出线头连接。镇流器的另一个出线头与开关的一个接线端连接，而开关的另一个接线端则与电源中的一根相线相连。与镇流器连接的导线既可通过瓷接线柱连接，也可直接连接，但要恢复绝缘层。接线完毕，要对照电路图仔细检查，以免错接或漏接。

(3) 固定灯架

固定灯架的方式有吸顶式和悬吊式两种。悬吊式又分为金属链条悬吊和钢管悬吊两种。安装前先在设计的固定点钻孔预埋合适的紧固件，然后将灯架固定在紧固件上。

(4) 通电调试

将启辉器旋入底座，把荧光灯管装入灯座，检查无误后，即可通电试用。

目前，大多数荧光灯已采用了电子镇流器，所以不但省去了启辉器，还减轻了镇流器

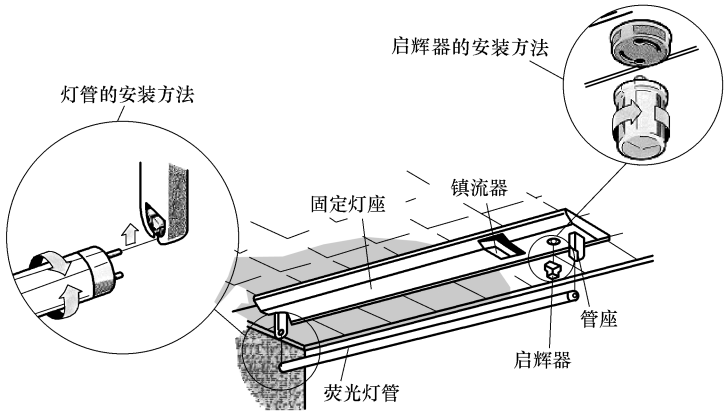


图 3-17 荧光灯的安装

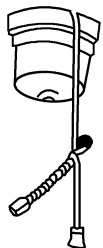
自身的重量。

3.2 照 明 开 关

1. 照明开关的种类

照明开关分为明装式和暗装式两种，其中明装式照明开关的品种、规格和适用范围见表 3-1 和表 3-2。

表 3-1 明装照明开关的品种、规格和适用范围

名称	图示	品种	额定电压/V	额定电流/A	适用场所
普通拉线开关		胶木瓷质	250	3	户内一般场所普遍应用
顶撞式拉线开关		胶木瓷质	250	3	户内吊装式灯座（挂线盒与开关合一）

(续)

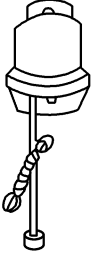
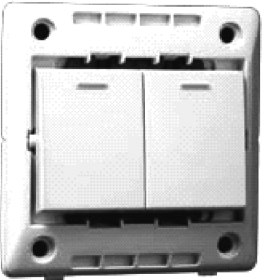
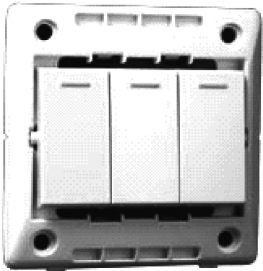
名称	图示	品种	额定电压/V	额定电流/A	适用场所
防水式拉线开关		瓷质	250	5	户外一般场所或户内有水汽、漏水等严重潮湿场所
平开关		胶木瓷质	250	3 5 10	户内一般场所

表 3-2 暗装照明开关的品种、规格和适用范围

图示	产品名称	型号	额定电压/V	额定电流/A
	普通型单联控制开关	86K11-6	250	6
	普通型单联双控开关	86K12-6		10
	普通型单联单控开关	86K11-10		
	普通型单联双控开关	86K12-10		15
	普通型单联多控开关	86K14-10		
	普通型单联单控开关	86K11-15		20
	普通型单联双控开关	86K11-20		
	普通型单联单控开关	86K12-20		6
	普通型单联双控开关	86K12-20		
	普通型双联单控开关	86K21-6		10
	普通型双联双控开关	86K22-6		
	普通型双联单控开关	86K21-10		15
	普通型双联双控开关	86K22-10		
	普通型双联双控开关	86K21-15		6
	普通型双联双控开关	86K22-15		
	普通型三联单控开关	86K31-6		10
	普通型三联双控开关	86K32-6		
	普通型三联单控开关	86K31-10		15
	普通型三联双控开关	86K32-10		
	普通型三联单控开关	86K31-15		
	普通型三联双控开关	86K32-15		

2. 照明开关的安装

(1) 明装开关的安装 明装开关安装时，应先敷设线路，然后在装开关处打好木枕，固定木台，并在木台上装好开关底座，然后接线，如图 3-18 所示。

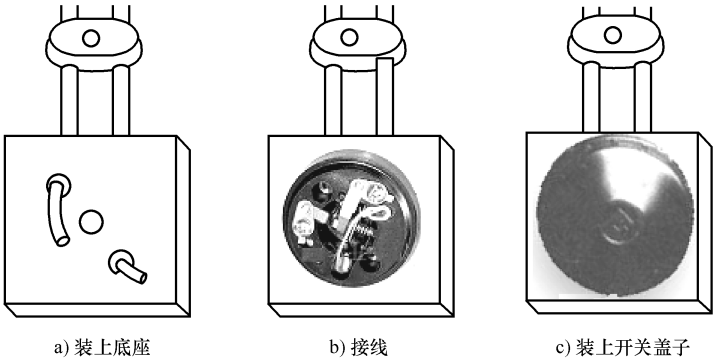


图 3-18 明装开关的安装

(2) 暗装开关的安装 暗装开关安装时，先将开关盒（铁盒、木盒或塑料盒）按施工图要求位置预埋在墙内。埋设时可用水泥浆填充，埋设时注意平整，开关盒口面应与墙的粉刷层平面一致，然后在预埋的暗管内穿线，并将暗开关接线，盖上开关板，如图 3-19 所示。

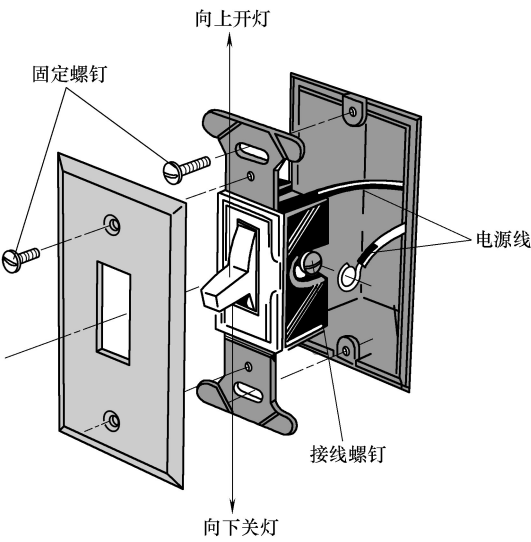


图 3-19 暗装开关的安装

3.3 插 座

1. 插座的种类

插座分为明装式和暗装式两种，其中明装式插座的品种、规格和适用范围见表 3-3，

而暗装照明开关的品种、规格和适用范围见表 3-4。

表 3-3 明装插座的品种、规格和适用范围

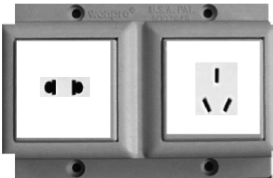
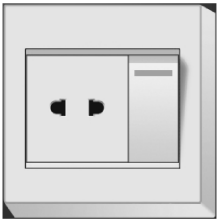
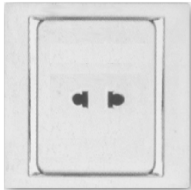
名称	图示	型号	额定电压 /V	额定电流 /A	适用场所
单相二极插座		ZM12-10	250	10	固定安装在室内墙上供二次插头连接电源用
单相三极插座		ZM13-10		10	固定安装在墙上，供三极插头连接电源用
		ZM13-15		15	
		ZM13-20		20	
		ZM13-30		30	
双联单相二极、三极插座		ZM223-10		10	固定安装在墙上，供二极、三极插头连接电源用
带开关的单相二极双用插座		ZM12-TK6		6	固定安装在墙上，供二极插座用，附有开关可启闭插座电路
带开关的三相三极插座		ZM13-K6		6	固定安装在墙上，供三极插座用，附有开关可启闭插座电路

表 3-4 暗装插座的品种、规格和适用范围

名称	图示	型号	额定电压 /V	额定电流 /A	适用场所
普通型二极插座		86Z12-10	250	10	
安全型二极插座		86Z12T10		10	安全型插座插孔与插座套之间有一保护门,插头两足同时插入时才能打开保护门进行电连接,适用于家庭及儿童活动场所
带开关的三极插座		86Z13-15		15	供三极插座用,附有开关可启闭插座电路
防溅三极插座		86Z13F10		10	有防溅盖,插头拔出时放下盖,则四周封闭,防止水滴入插孔。适用于医院、厨房、厕所及潮湿地方
二、三极两用插座		86Z223-10		10	使用时最好配用无调整板接线盒

2. 插座的安装

插座的安装步骤如图 3-20 ~ 图 3-25 所示



图 3-20 准备好插座

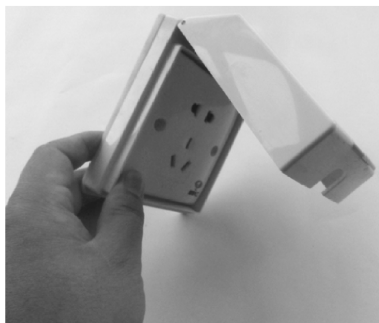


图 3-21 检查插座应无缺陷

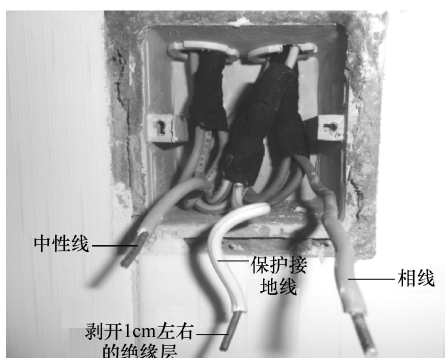


图 3-22 分出中性线、相线、保护接地线，剥开 1cm 左右绝缘层



图 3-23 按要求压接导线



图 3-24 将插座固定在墙上



图 3-25 扣好保护盒

3. 插头的安装

插头的安装如图 3-26 ~ 图 3-29 所示



图 3-26 准备好插头和导线

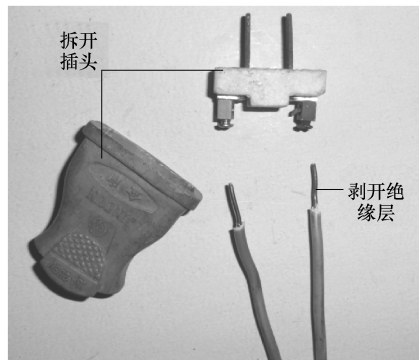


图 3-27 拆开插头、剥开绝缘层



图 3-28 将导线正确的压在插头上



图 3-29 装好插头

3.4 照明线路的连接工艺

3.4.1 导线绝缘层的剥离

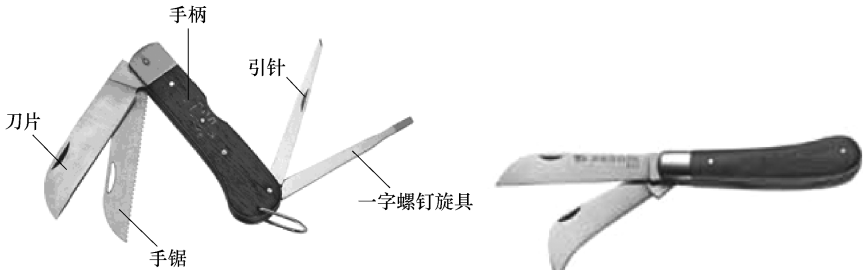
1. 塑料绝缘硬线

(1) 端头绝缘层的剥离 通常采用电工刀进行剥离, 如图 3-30 所示, 但截面积为 4mm^2 及以下的硬线绝缘层, 则可用剥线钳进行剥离, 如图 3-31 所示。

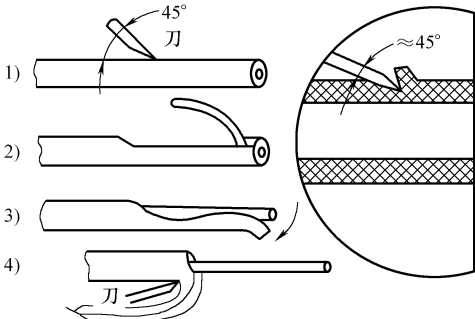
图 3-30 所示是用电工刀剥离绝缘层的步骤, 说明如下:

- 1) 按连接所需长度, 把刀身与导线之间以 45° 左右夹角切入绝缘层到将切着而未切着芯线为止。
- 2) 压下刀身, 夹角改为约 15° 后把刀身向线端推削。

- 3) 把余下的绝缘层从端头处与芯线剥开。
- 4) 把余下绝缘层扳翻至切口根部后，可用电工刀把它切断。



a) 电工刀及其结构



b) 用电工刀剥离绝缘层的方法

图 3-30 塑料绝缘硬线端头绝缘层的剥离方法

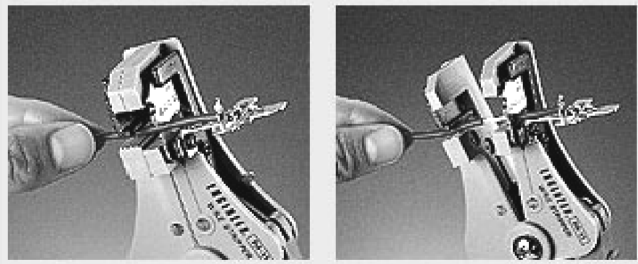
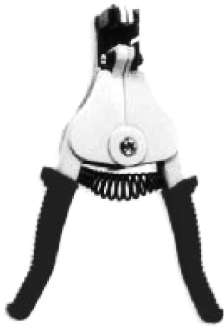


图 3-31 剥线钳及其使用方法

- (2) **中间绝缘层的剥离** 只能用电工刀剥离，方法如图 3-32 所示，其操作步骤如下：
- 1) 在连接所需的线段上，依照上述 (1) 1) 和 2) 方法加工，推刀至连接所需长度为止。
 - 2) 按上述 (1) 4) 方法把已剥离部分绝缘层切断。
 - 3) 用刀尖把余下绝缘层与芯线挑开，并把刀身伸入已挑开的缝中，接着用刀口切断一端。

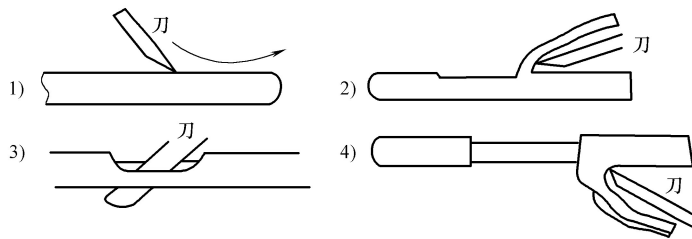


图 3-32 塑料绝缘硬线中间绝缘层的剥离

4) 按上述 (1) 4) 方法切断另一端。

2. 塑料绝缘软线

这种导线绝缘层除用剥线钳玻璃外, 也可利用钢丝钳进行剥离, 但不可用电工刀来剥离。

(1) 用钢丝钳剥离绝缘层的方法 如图 3-33 所示, 其步骤如下:

1) 用左手拇、食两指先捏住线头。

2) 按连接所需长度, 用钳头刀口轻切绝缘层。这时要注意: 只要切破绝缘层即可, 千万不可用力过大, 使切痕过深, 因软线每股芯线较细, 极易被切断, 即使隔着未被切破的绝缘层, 往往也会被切断。

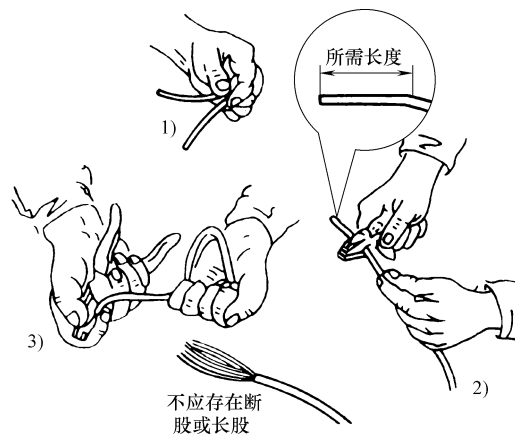


图 3-33 用钢丝钳剥离绝缘层的方法

3) 接着应迅速移动钢丝钳握位, 从柄部移至头部。在移位过程中切不可松动已切破绝缘层的钳头。同时, 左手食指应围绕一圈导线, 并握拳捏住导线。然后两手反向同时用力, 左手抽右手勒, 即可把端部绝缘层脱离芯线。

(2) 软线绝缘层剥离要求 不准存在断股 (一根细芯线称为一股) 和长股 (即部分细芯线较其余细芯线长, 出现端头长短不齐)。因长股的细芯线就是断裂在绝缘层内部的断股。剥离绝缘层后的芯线, 出现断股或长股时, 应切断后重新剥离绝缘层。

3. 塑料护套线

这种导线只能进行端头连接, 不允许进行中间连接。它有两层绝缘结构, 外层统包着两根 (双芯) 或三根 (三芯) 同规格绝缘硬线, 称护套层。在剥离芯线绝缘层前应先剥离护套层。

(1) 护套层的剥离 通常都采用电工刀进行剥离, 方法如图 3-34 所示, 其操作步骤如下:

1) 用电工刀刀尖在所需长度界线上开始, 从两芯线凹缝中划破护套层。

2) 剥开已划破的护套层。

3) 把剥开的护套层向切口根部扳翻, 并切断。这时应注意: 在剥离过程中, 务必要防止损伤芯线绝缘层, 特别在步骤 1) 的操作时, 应始终沿着两芯线凹缝划去, 切勿偏

离，以免切着芯线绝缘层。

(2) **芯线绝缘层的剥离**（见图 3-35） 与塑料绝缘硬线端头绝缘层剥离方法完全相同。但切口相距护套层至少 10mm。所以，实际连接所需长度应以绝缘层切口为准，护套层切口长度应加上这段错开长度。



图 3-34 塑料护套线护套层的剥离

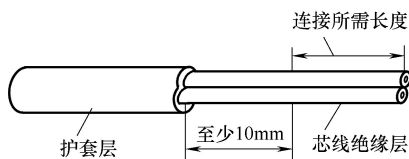


图 3-35 塑料护套线芯线绝缘层的剥离

4. 橡皮软电缆（又叫橡胶护套线）

(1) **护套层的剥离方法** 如图 3-36 所示，其步骤如下：

1) 用电工刀从端头任意两芯线缝隙中割破部分护套层。

2) 把割破已可分两片的护套层连同芯线（分成两组）一起进行反向分拉来撕破护套层，当撕拉难以破开护套层时，再用电工刀补割，直到所需长度时为止。

3) 扳翻已被分割的护套层，在根部分别切断。

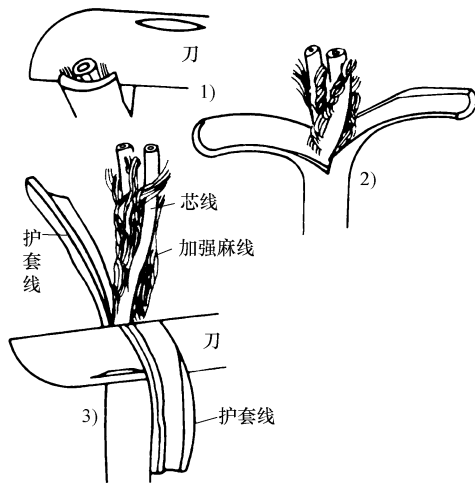


图 3-36 橡皮软电缆护套层的剥离方法

(2) **麻线扣结方法**（见图 3-37） 这种软线不是作为电动机具的电源引线使用，就是作为田间临时电源馈线使用，因而受外界的拉力较大，故在护套层内除有芯线外，尚有 2~5 根加强麻线。这些麻线不应在护套层切口根部剪去，应扣结加固，余端也应固定在插头或电具内的防拉压板中，以能使这些麻线来承受外界拉力，保证导线端头不遭破坏。扣结方法：

1) 把全部芯线捆扎住后扣结，位置应尽量靠在护套层切口根部。

2) 余端压入防拉压板后扣结。

(3) **绝缘层的剥离方法**（见图 3-38） 每根芯线绝缘层可按塑料绝缘软线的方法进行剥离。但护套层与绝缘层之间也应错开，要求和注意事项与塑料护套线的相同。

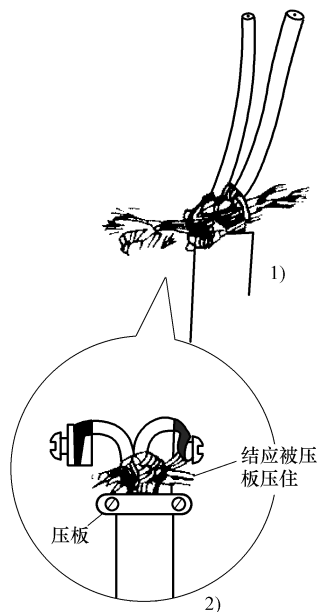


图 3-37 橡皮软电缆麻线扣结方法

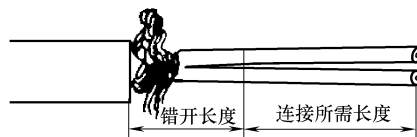


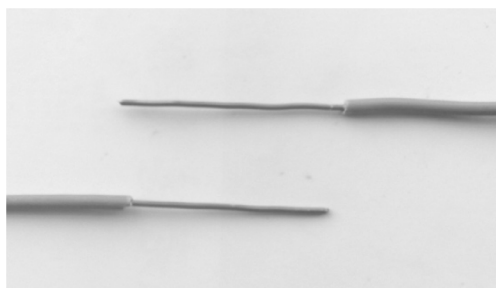
图 3-38 橡皮软电缆芯线绝缘层的剥离方法

3.4.2 单股铜芯导线的一字形（直线）连接

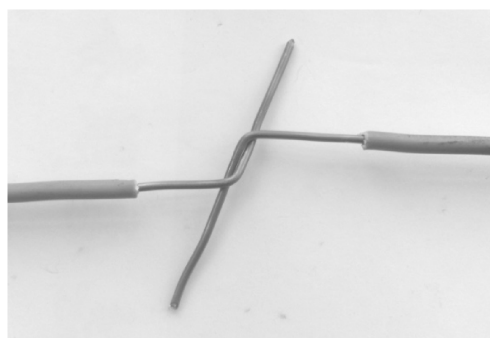
- 1) 将被连接的两导线的绝缘层削掉，清理干净（见图 3-39①）。
- 2) 将两导线线芯 2/3 长度处绞在一起，成 X 形（见图 3-39②）。
- 3) 一手握钳，另手将一线芯按顺时针方向紧绕在另一线芯上（见图 3-39③），绕数圈，把多余部分剪掉，并用钳子将线芯掐住压紧（见图 3-39④）。
- 4) 用同样方法把另一芯线缠绕好，圈数相同（见图 3-39⑤）。

3.4.3 单股铜芯导线的 T 字形连接

- 1) 将被连接的两导线的绝缘层削掉，清理干净（见图 3-40①）。

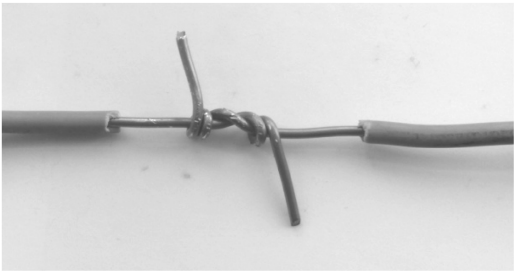


第①步

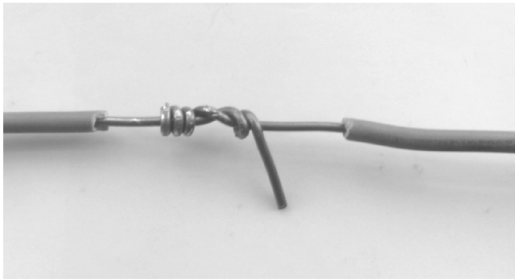


第②步

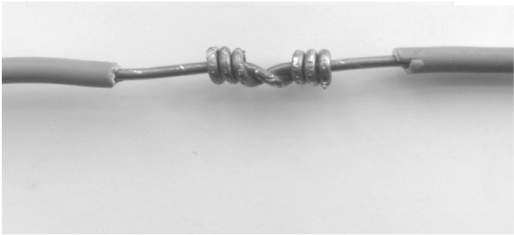
图 3-39 单股铜芯导线的一字形（直线）连接



第③步



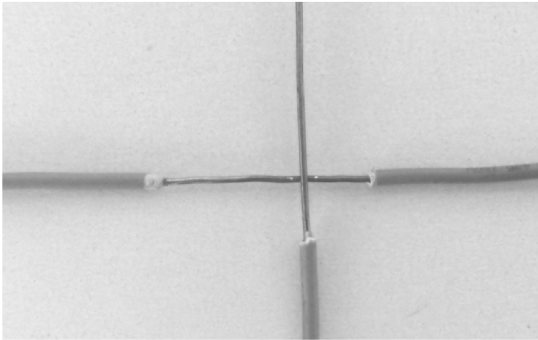
第④步



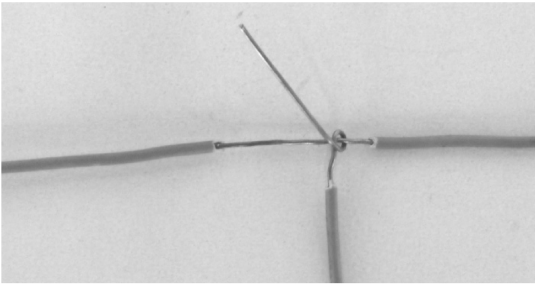
第⑤步

图 3-39 单股铜芯导线的一字形（直线）连接（续）

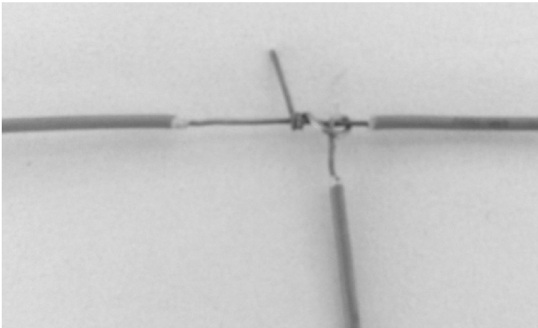
2) 将支路芯线的线头与干线芯线十字相交后按顺时针方向缠绕支路芯线（见图 3-40 ②）。



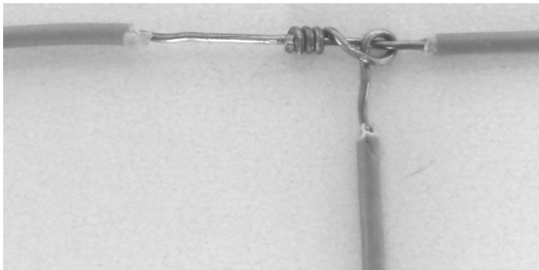
第①步



第②步



第③步

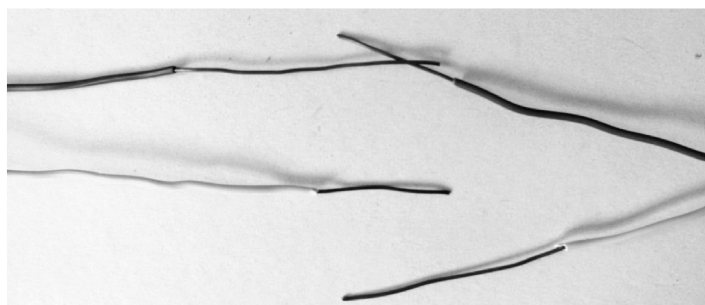


第④步

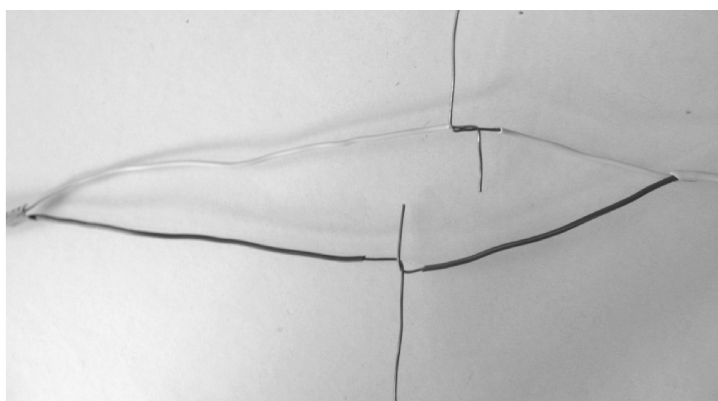
图 3-40 单股铜芯导线的 T 字形连接

3) 缠绕数圈后, 剪去余下的芯线, 并剪平芯线末端见图 3-40③)。

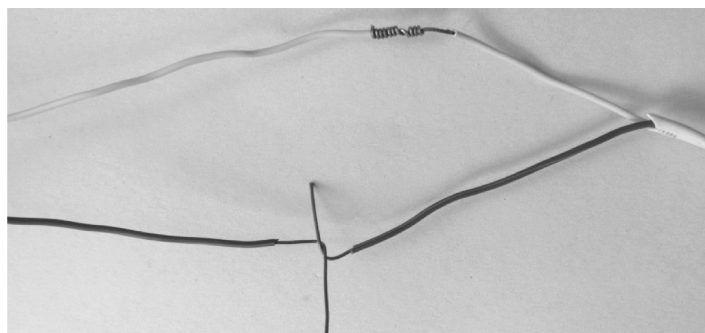
4) 较小截面的芯线, 应先环绕结扣, 再把支路线头扳直, 紧密缠绕数圈, 随后剪去多余芯线, 剪平切口毛刺 (见图 3-40④)。



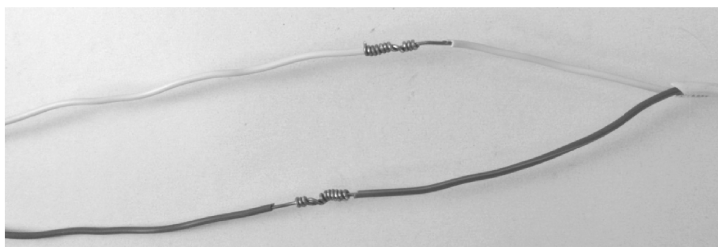
第①步



第②步



第③步



第④步

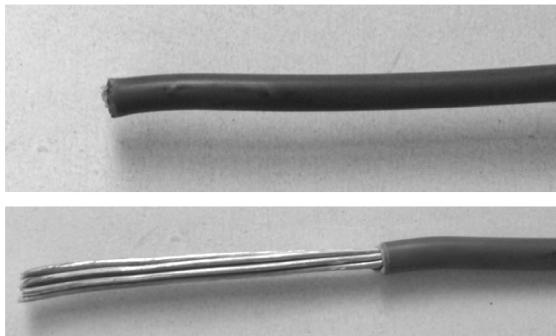
图 3-41 双股导线的连接

3.4.4 双股导线的连接

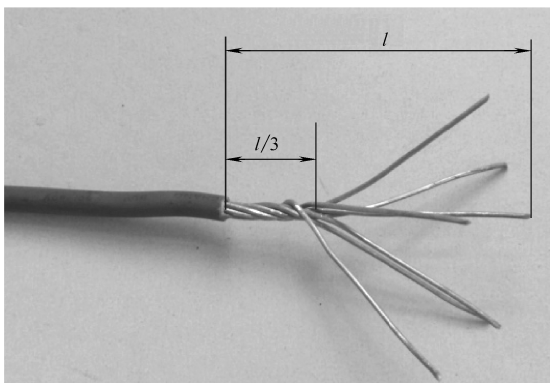
- 1) 将被连接的两导线的绝缘层削掉，清理干净（见图 3-41①）。
- 2) 双股导线同色相互连接，进行 X 形交叉（见图 3-41②）。
- 3) 将一根同色导线按照“3.4.2 介绍的单股铜芯导线的一字形连接”方法进行连接（见图 3-41③）。
- 4) 将另外一根导线也用同样的方法连接好（见图 3-41④）。

3.4.5 多股导线的一字形（直线）连接

- 1) 将被连接的两导线的绝缘层削掉，清理干净（见图 3-42①）。
- 2) 把两个多股导线散开拉直，并将 $l/3$ 长的导线绞紧，然后把 $2l/3$ 长的导线分散成伞状（见图 3-42②）。
- 3) 把两股导线的伞状芯线头隔根对插（见图 3-42③）。
- 4) 捏平插入后的所有芯线，并理直每股芯线，使每股芯线的间隔均匀（见图 3-42④）。

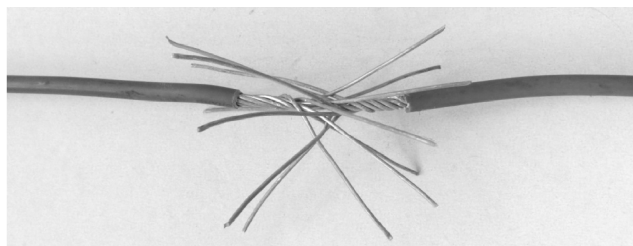


第①步

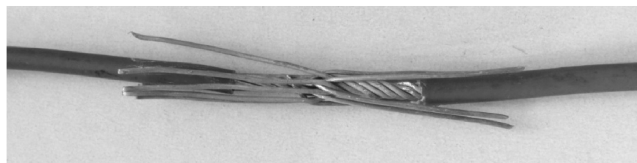


第②步

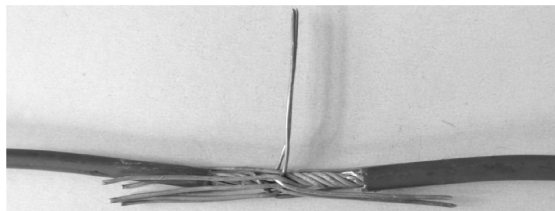
图 3-42 多股导线的一字形连接



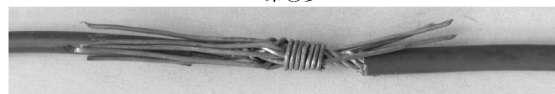
第③步



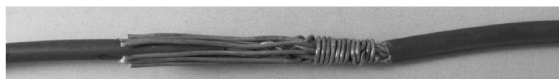
第④步



第⑤步



第⑥步



第⑦步



第⑧步

图 3-42 多股导线的一字形连接 (续)

- 5) 将第一组的 2 根芯线扳起并垂直于芯线, 按顺时针方向紧绕 2~3 圈 (见图 3-42 ⑤、⑥)。
- 6) 把第二组的 2 根芯线仍按顺时针方向紧紧压住前 2 根芯线, 缠绕 2~3 圈。
- 7) 把最后一组的 3 根芯线按上述方法顺时针方向紧紧压住前 4 根芯线缠绕 3~4 圈。最后切去每组多余长度的芯线, 平整端部, 去除毛刺 (见图 3-42⑦)。
- 8) 用上述同样方法缠绕另一边芯线 (见图 3-42⑧)。

3.4.6 多股导线的 T 字形连接

- 1) 将被连接的两导线的绝缘层削掉, 清理干净 (见图 3-43①)。

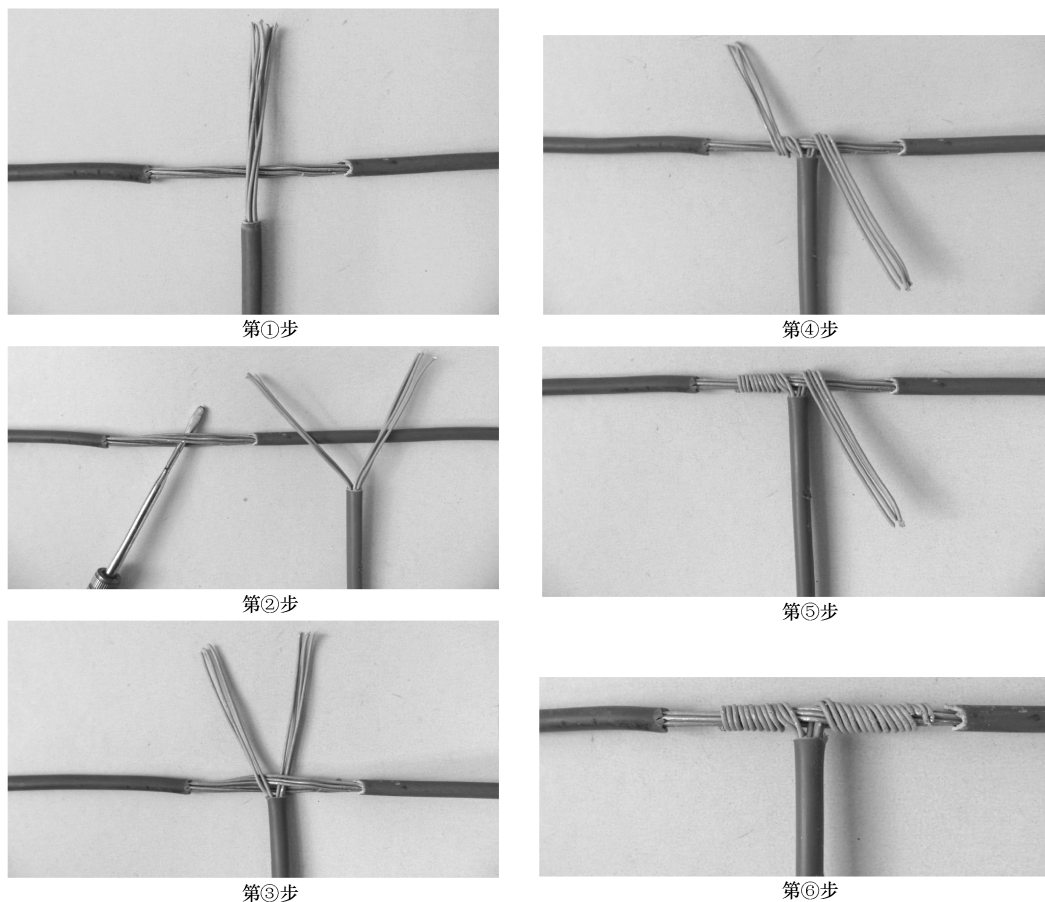


图 3-43 多股导线的 T 字形连接

2) 用螺钉旋具将干路芯线均匀的分为两组，然后将支路线芯拉直，也分成两组（见图 3-43②）。

3) 将支路线芯的一组从干路线芯的中间穿过（见图 3-43③）。

4) 把两组支路芯线紧紧绕在干线芯线上（见图 3-43④、⑤）。

5) 最后如图 3-43⑥所示，每边紧紧缠绕 4 ~ 5 圈后，钳平线端。

3.4.7 不等径导线的连接

1) 将被连接的两导线的绝缘层削掉，清理干净（见图 3-44①）。

2) 将细导线接线头在粗导线接线头上缠绕 4 ~ 8 圈，然后将粗导线线头弯折压住细线的缠绕层（见图 3-44②）。

3) 再用细导线将折回的粗导线缠绕 2 ~ 5 圈，剪去多余的线头，钳平切口（见图 3-44③）。

3.4.8 导线的封端

对于导线截面积大于 10mm^2 的多股铜、铝导线，一般都必须用接线端子（又叫接线鼻子）对导线端头进行封端，再由接线端与电气设备相连。

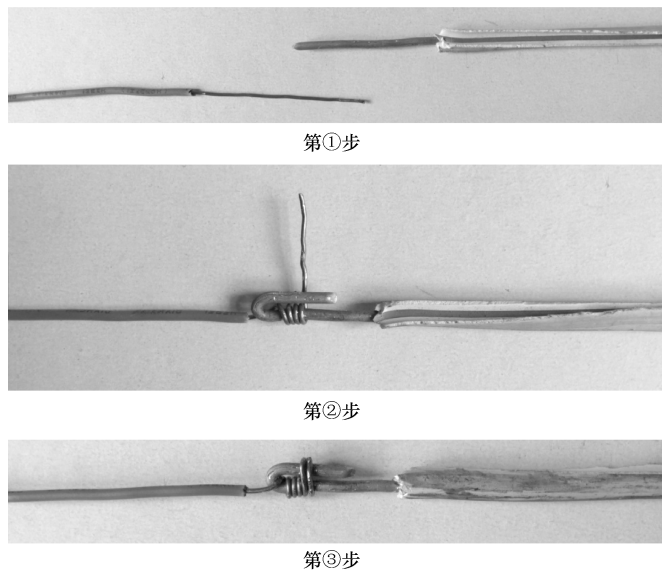


图 3-44 不等径导线的连接

1. 铜芯导线的锡焊封端

如图 3-45 所示，步骤如下：

- 1) 剥离铜芯导线端部分绝缘层，除去芯线表面和接线端子内壁的氧化膜，涂以无酸焊锡膏。
- 2) 用一根粗铁丝系住铜接线端子，使插线孔口朝上并放到火里加热。
- 3) 把锡条插在铜接线端子的插线孔内，使锡受热后溶解在插线孔内。
- 4) 把芯线的端部插入接线端子的插线孔内，上下插拉几次后把芯线插到孔底。

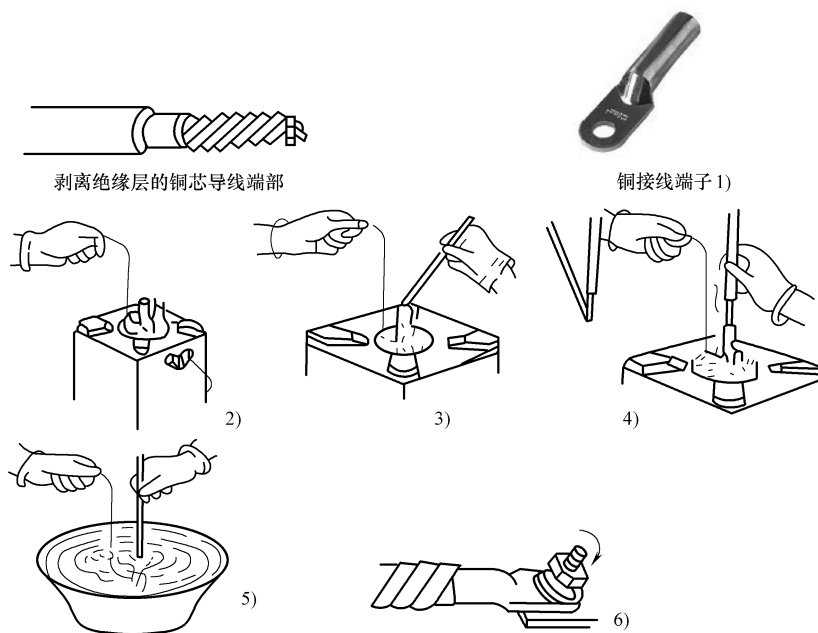


图 3-45 铜芯导线锡焊封端的方法

- 5) 平稳而缓慢地把粗铁丝和接线端子浸到冷水里,使液态锡凝固,芯线焊牢。
- 6) 用锉刀把铜接线端子表面的焊锡除去,用砂布打光后包上绝缘带,即可与电器接线柱连接。

2. 铜芯导线的压接封端

如图 3-46 所示,步骤如下:

- 1) 把剥去绝缘层并涂上石英粉、凡士林油膏的芯线插入内壁也涂上石英粉一凡士林油膏的铜接线端子孔内。
- 2) 用压接钳进行压接,在铜接线端子的正面压两个坑,先压外坑,再压内坑,两个坑要在一条直线上。
- 3) 从导线绝缘层至铜接线端子根部包上绝缘带。

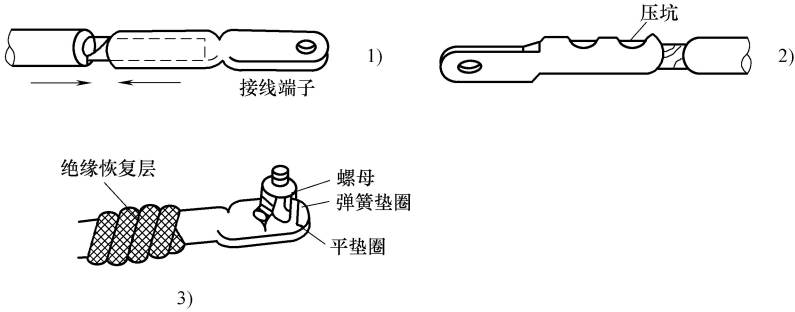


图 3-46 铜芯导线压接封端

3. 铝芯导线的封端

铝芯导线一般采用铝接线端子压接法进行封端。铝接线端子的外形及规格如图 3-47 所示,其各部分尺寸见表 3-5。

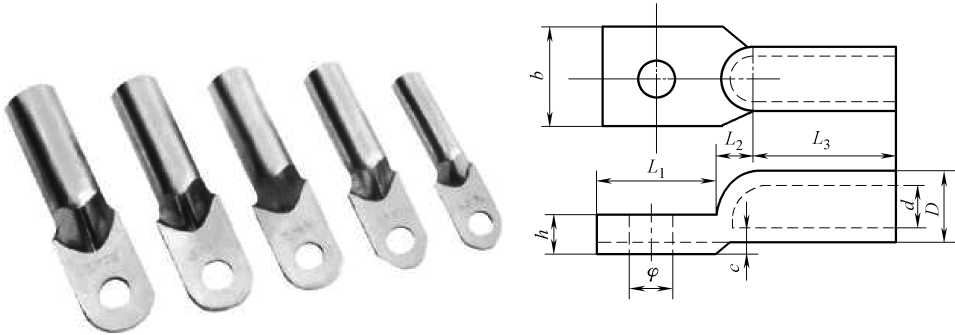


图 3-47 铝接线端子的外形及规格

铝芯导线用压接法进行封端的方法如图 3-48 所示,其步骤如下:

- 1) 根据铝芯线的截面积选用合适的铝接线端子,然后剥去芯线端部绝缘层;
- 2) 刷去铝芯线表面氧化层并涂上石英粉、凡士林油膏;
- 3) 刷去铝接线端子内壁氧化层并涂上石英粉、凡士林油膏;
- 4) 铝芯线要插到孔底;

表 3-5 铝接线端子尺寸 (单位: mm)

适用导线截面积/mm ²	端子各部分尺寸									压模深
	<i>d</i>	<i>D</i>	<i>c</i>	<i>L</i> ₁	<i>L</i> ₂	<i>L</i> ₃	<i>b</i>	<i>h</i>	φ	
16	5.5	10	1	18	5	32	17	3.6	6.5	5.4
25	6.8	12	1	20	8	32	17	4.0	8.5	5.9
35	7.7	14	1	24	9	32	20	5.0	8.5	7.0
50	9.2	16	1	28	10	37	20	5.0	10.5	7.8
70	11.0	18	1	35	10	40	25	6.5	10.5	8.9
95	13.0	21	1	36	11	45	28	7.0	13.0	9.9

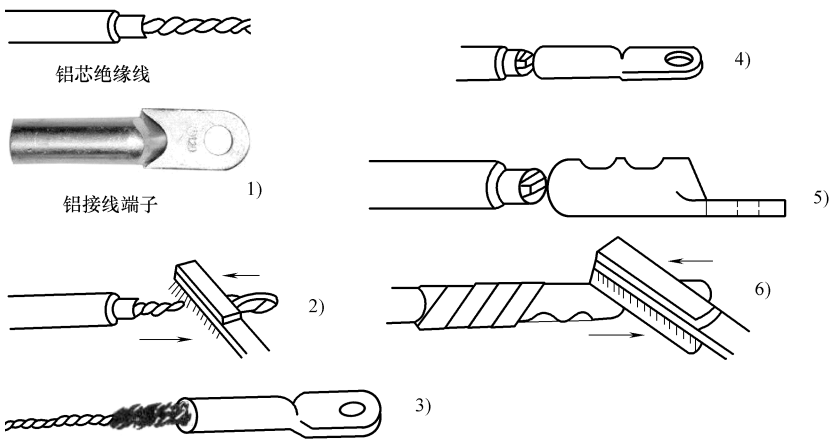


图 3-48 铝芯导线用压接法进行封端

5) 用压接钳在铝接线端子正面压两个坑, 先压靠近插接孔处的第一个坑, 再压第二个坑, 压坑的尺寸见表 3-6;

表 3-6 铝接线端子压接坑尺寸

压坑位置	电线截面积 /mm ²	铝接管尺寸/mm			管压接尺寸/mm	
		<i>d</i> ₁	<i>d</i> ₀	<i>L</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
	2.5	1.8	3.8	31	2	4
	4	2.3	4.7	31	2	4
	6	2.8	5.2	31	2	4
	10	3.6	6.2	31	2	4
	16	5.2	10	62	2	4
	25	6.8	12	62	2	4
	35	7.7	14	62	2	4
	50	9.2	16	71	3	4
	70	11	18	77	4	4
	95	13	21	85	4	4
	120	14.5	22.5	95	5	4
	150	16	24	100	5	4

6) 在剖去绝缘层的铝芯导线和铝接线端子根部包上绝缘带 (绝缘带要从导线绝缘层包起), 并刷去接线端子表面的氧化层。

3.4.9 线头与接线桩的连接

线头与接线桩 (见图 3-49) 的连接方法是依靠置于孔顶部的压紧螺钉压住线头 (线

芯端)来完成电线连接的。电流容量较小的接线桩,一般只有一个压紧螺钉。电流容量较大的,或连接要求较高的,通常有两个压紧螺钉。

1. 单股线芯头的连接方法

在通常情况下,线芯直径都小于孔径,且多数都可插入两股线芯,所以必须把线头的线芯折成双股并列后插入孔内,并应压紧螺钉顶住的双股线芯的中间,如图 3-50a 所示,如果线芯直径较大而无法插入双股线芯,就应在单股线芯插入孔前把线芯端头略折一下,折转的端头翘向孔上部,如图 3-50b 所示。这样就能有效地防止线头从稍有松动的孔中脱出了。

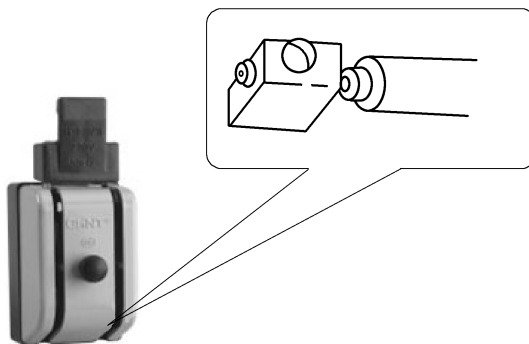


图 3-49 接线桩

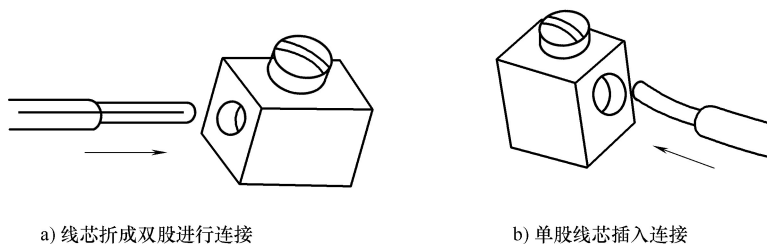


图 3-50 单股线芯与柱型端子

2. 多股线芯头的连接方法

连接时,必须把多股线芯按原拧绞方向用钢丝钳进一步绞缠紧密,要保证多股线芯受压紧顶压而不松散。由于多股线芯的载流量较大,孔上部往往有两个压紧螺钉,连接时应先拧紧第一枚压紧螺钉(近断口的一枚),后拧紧第二枚,然后再拧紧第一枚和第二枚,要反复加拧两次。在连接时,线芯直径与孔径的匹配一般应比较相称,尽量避免出现孔过大或过小的现象。三种情况的工艺处理如下:

1) 在线芯直径与孔径大小较匹配时,在一般用电场所,把线芯进一步绞紧后装入孔中即可,如图 3-51a 所示。若在用电危险场所,为了防止线头可能从孔中脱出,应做如下处理:

线头绝缘层应剥去多一些,在进一步将线芯绞紧前,线芯端头分三级剪去多余部分。以 7 股线为例,宜 2 股剪得最短;4 股稍长,长出单股线芯直径的 4 倍;4 股稍长,长出单股线芯直径的 4 倍;另 1 股最长,长出应能在 4 股稍长线芯上紧缠两圈的需要量,待多股线芯作进一步绞紧后,把这股最长线芯紧缠在端头上。这样,能使线头的线芯端子略大些,在压紧螺钉松动时,即使导线稍受外力牵拉,也不易脱出孔。

2) 在孔径过大时,可用一根单股线芯在已作进一步绞紧后的线芯上进行较紧密的排绕一层,如图 3-51b 所示,然后进行连接。

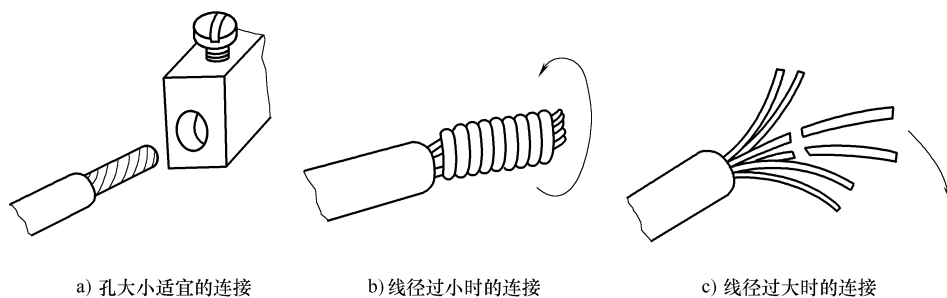


图 3-51 多股线芯与柱型端子的连接方法

3) 孔过小时，通常是导线在流密度选用过低所致，所以可把多股线芯处于中心部位的线芯剪去（7 股线剪去一股，19 股线剪去 1~7 股），然后重新绞紧，进行连接，如图 3-51c。

3. 线头与螺钉端子的连接方法

线头与螺钉端子的连接方法是依靠开槽盘头螺钉的平面，并通过垫圈紧压导线线芯来完成电线连接的。对于电流容量较小的单股线芯，在连接前，应把线芯弯成压接圈（也叫“羊眼圈”）。对于电流容量较大的多股线芯，在连接前，一般都应在在线芯端子安装接线耳。但在电流容量不太大且线芯截面积不超过 10mm^2 的 7 股线连接时，也允许把线头线

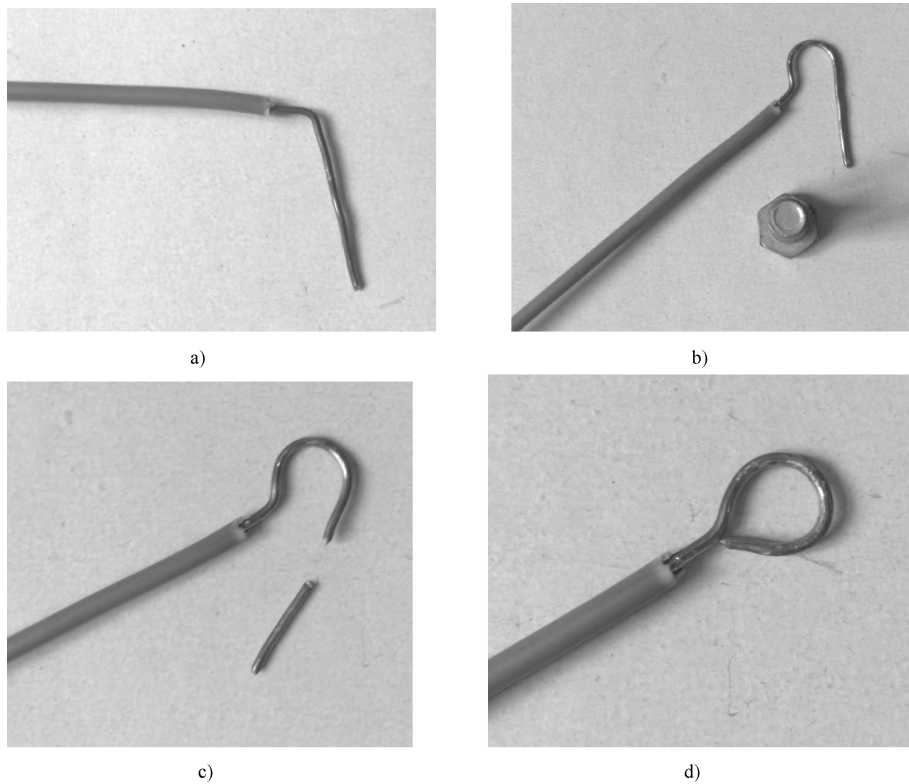


图 3-52 单股线芯压接圈的弯法

芯弯成多股线芯的压接圈进行连接。此外，各种连接的工艺要求和操作方法如下：

(1) **连接的工艺要求** 压接圈和接线耳必须压在垫圈下边，压接圈的弯曲方法必须与螺钉的拧紧方向保持一致，导线绝缘层切不可压入垫圈内，螺钉必须拧得足够紧，但不能用弹簧垫圈来防止松动。连接时，应消除垫圈上、压接圈及接线耳上的油垢。

(2) **单股导线压接圈的弯法** 工艺步骤和操作方法如图 3-52 所示。

4. 线头与具有瓦形垫圈的螺钉连接

线头与具有瓦形垫圈的螺钉（见图 3-53）与上文中的“3. 线头与螺钉端子的连接方法”基本相同，只是垫圈采用瓦形构造。为了防止线头脱落，在连接时应将线芯作如图 3-54a 所示的方法进行处理。如果需把两个线头接入同一个线端子时，应按图 3-54b 所示的方法进行连接。

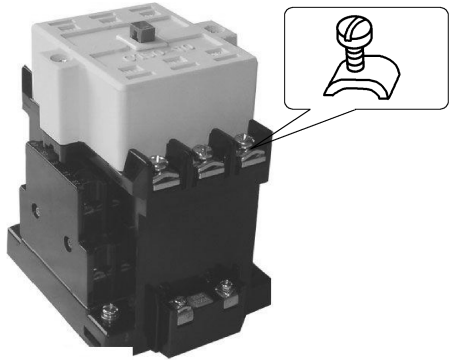


图 3-53 瓦形垫圈的螺钉端子

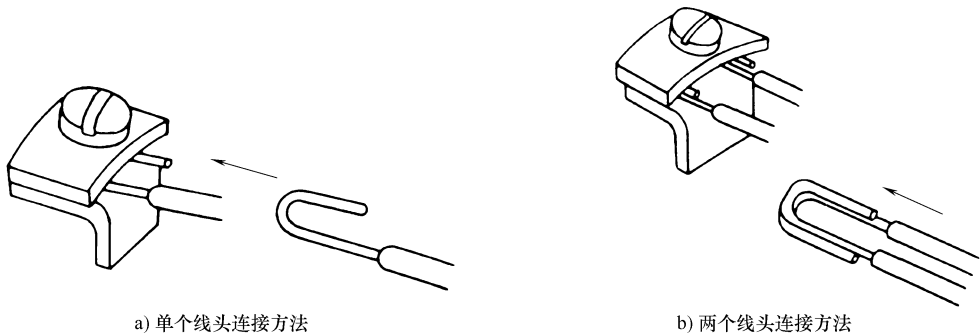


图 3-54 导线线头与具有瓦形垫圈的螺钉端子的连接方法

3.4.10 导线绝缘层的恢复

绝缘电线绝缘层恢复包扎所用的材料有黄蜡带、黑胶带、涤纶薄膜带等，绝缘带宽选用 15 ~ 20mm，根据导线直径大小而定。

对于低压导线（220 ~ 380V）包扎 1 ~ 2 层黄蜡带或涤纶薄膜带，最后再包一层黑胶带即可。包缠时，从导线左边完整的绝缘层上开始包缠，包缠两根带宽后方可进入无绝缘层的芯线部分如图 3-55a 所示。

包缠时，黄蜡带（黑胶带）与导线保持约 45° 的倾斜角，每圈压叠带的 1/2（见图 3-55b）。

包缠一层黄蜡带后，将黑胶布接在黄蜡带的尾端，按另一斜叠方向包缠一层黑胶带，也应每圈叠压前面带宽的 1/2（见图 3-55c、d）。绝缘带或纱带包缠完毕后的末端用纱线绑扎牢固，或用绝缘带自身套接扎紧，方法如图 3-56 所示。黑胶带具有黏性可自作包封。

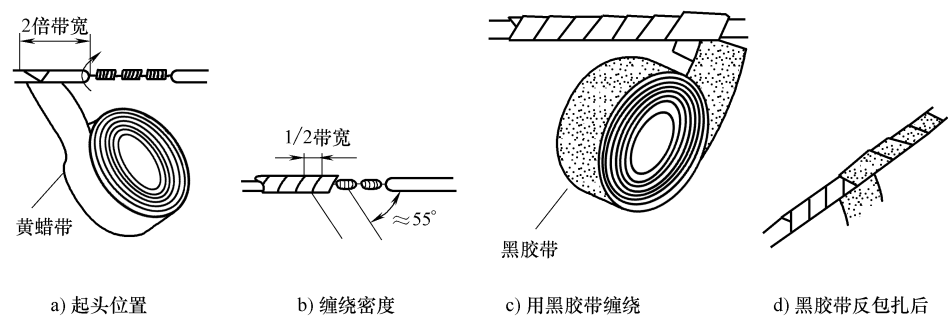


图 3-55 绝缘带包缠方法

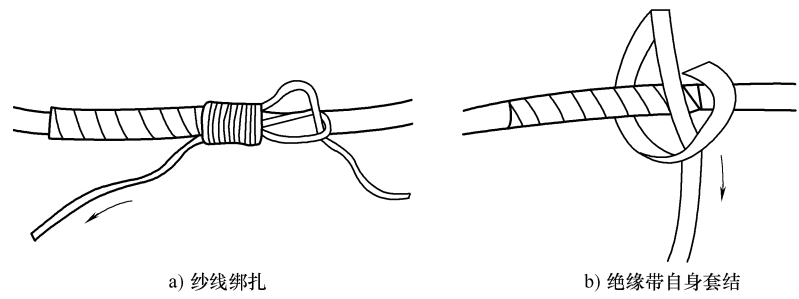


图 3-56 绝缘带或纱带末端的防散处理

第 4 章

低压电器设备 安装与使用技能

4.1 熔断器

熔断器是最简单的一种保护电器，串接在电路中使用，用以保护电气装置，使其在过载电流和短路电流通过时断开电路，避免设备的损坏。由于熔断器结构简单、价格低廉，在 1kV 及以下低压系统中被广泛使用。

4.1.1 瓷插式熔断器

瓷插式熔断器也叫插入式熔断器，具有结构简单、价格低廉、更换熔丝方便等优点，广泛应用于照明和小容量电动机的短路保护。当电流超过 2 倍额定电流时，熔丝可在 1h 内熔断，能起一定的过载保护作用。

瓷插式熔断器外形和结构如图 4-1 所示，它由瓷座、瓷盖、静触头、动触头和熔丝组成。电源线及负载线分别接在瓷座两端的静触头上，瓷座中间有一空腔，它与瓷盖凸起部分构成灭弧室。额定电流为 60A 及以上的熔断器在灭弧室中还垫有帮助灭弧的编织石棉。瓷插式熔断器只有在瓷盖拔出后才能更换熔丝，所以比较安全。

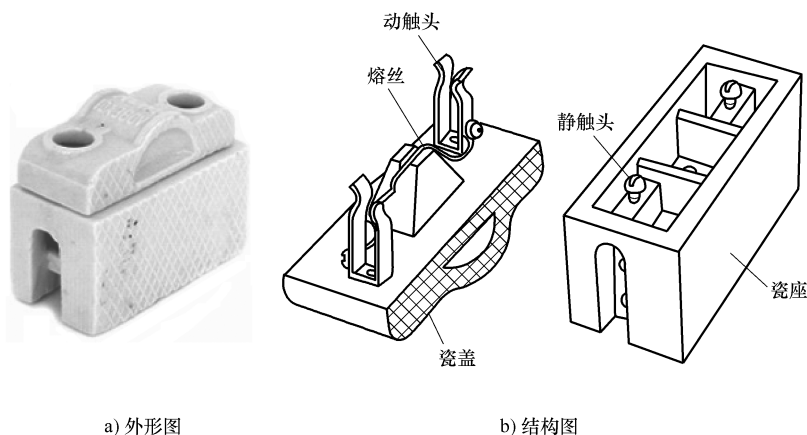


图 4-1 瓷插式熔断器

4.1.2 螺旋式熔断器

螺旋式熔断器具有断流能力大、体积小、更换熔丝方便、安全可靠和熔丝熔断后能显

示等特点。

螺旋式熔断器的外形及结构如图 4-2 所示，它主要由瓷帽、熔管、瓷套、上接线端、下接线端和底座等组成。这种熔断器的特点是在其熔管内，除装有熔丝外，还填满了石英砂，以增强熔断器的灭弧能力。在熔管上盖中有一熔断指示器，当熔体熔断时指示器弹出，通过瓷帽上的玻璃窗口可以看见。

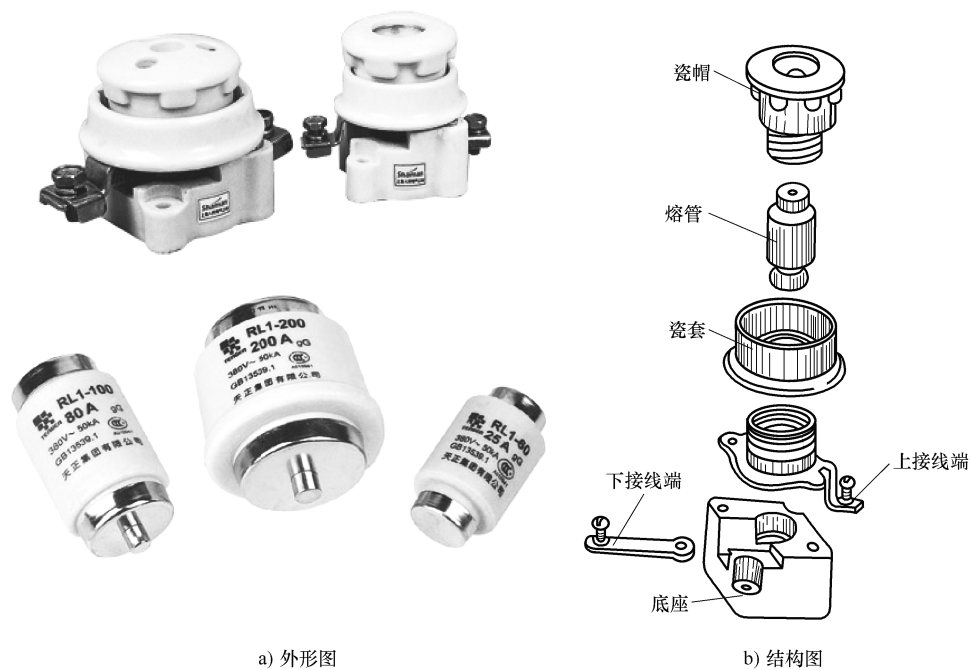


图 4-2 螺旋式熔断器

使用螺旋式熔断器时必须注意，用电设备的连接线应接到金属螺旋壳的上接线端，电源线应接到底座的下接线端，使更换熔丝时金属螺旋壳上不会带电，以保证用电安全。

4.1.3 无填料封闭管式熔断器

无填料封闭管式熔断器具有断流能力强、保护特性好、更换熔体方便、运行安全可靠等优点，适用于低压电网或成套配电装置的短路及过载保护。

常用的无填料封闭管式熔断器有 RM10 系列产品。无填料封闭管式熔断器的结构如图 4-3 所示，主要由熔管、熔体和夹座等组成。其熔管的结构形式有两种：15A 和 60A 熔断器的熔管由钢纸管、黄铜套和黄铜帽等组成；100A 及以上的熔断器熔管由钢纸管、黄铜套、黄铜帽和触刀等组成。熔片由变截面锌片制成，中间有几处狭窄部分，当短路电流流过熔片时，首先在狭窄处熔断，熔管在电弧的高温作用下，分解出大量气体，使管内压力迅速增大，很快将电弧熄灭。

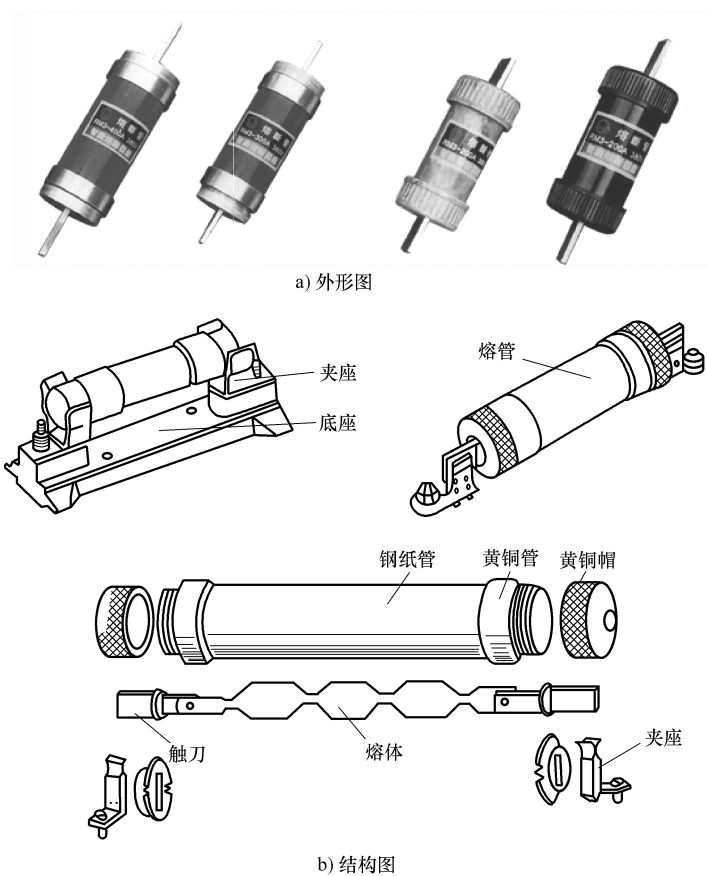


图 4-3 无填料封闭管式熔断器

4.1.4 有填料封闭管式熔断器

有填料封闭管式熔断器具有断流能力强、保护特性好、使用安全、带有醒目的熔断指示器等优点，主要用于具有高短路电流的电力网或配电装置中，作为电缆、导线、电动机、变压器以及其他电气设备的短路保护和电缆、导线的过载保护。其缺点是熔体不能更换，熔体熔断后要更换熔管，经济性较差。

RTO 系列有填料封闭管式熔断器的外形和结构如图 4-4 所示。它由熔管和底座两部分组成。熔管包括管体、熔体、指示器、触刀、盖板和石英砂，管体是一个由高频电磁制成的波状方管，管内装有工作熔体和指示器熔体。工作熔体与指示器熔体并联，当工作熔体熔断后，指示器熔体随之立即熔断，指示器被弹出，显示熔体已熔断。熔管内填满石英砂，使电弧能够很快熄灭。

4.1.5 熔断器的选用原则

1. 熔断器的选择方法

1) 熔断器的保护特性与所保护对象的过载能力应相匹配，使保护对象在全范围内能

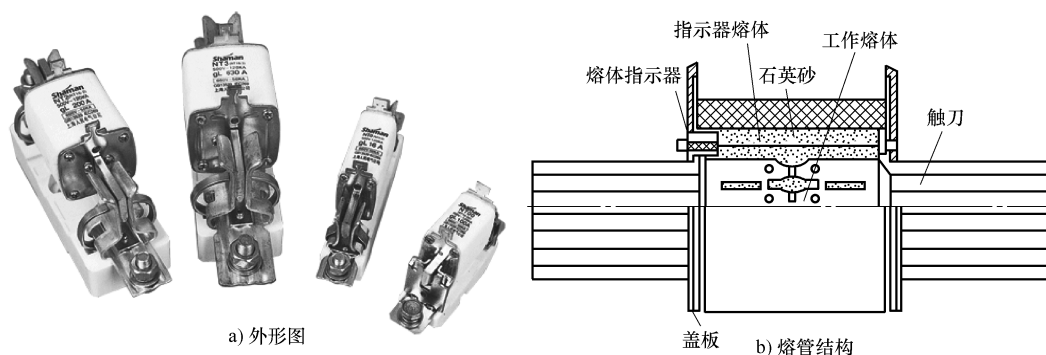


图 4-4 有填料封闭管式熔断器

可靠保护。

2) 应防止越级熔断, 以免扩大事故的停电范围, 各级熔断器之间应配合协调, 当发生故障时, 下级熔断器应先熔断, 而在下级熔断器熔断后, 上级熔断器能自动复原。

3) 在短路电流不大、故障率较高的配电系统中, 应优先选用拆装熔体方便的熔断器。

4) 在短路电流较大的配电系统中, 应选用分断能力高的熔断器, 必要时可选用限流作用较好的熔断器。但应特别注意, 有限流作用的熔断器, 也不是在任何情况下都能限流。

5) 用于电动机过电流保护的熔断器, 一般不要求有限流作用, 可选用具有锌质熔体或铅锡合金熔体的熔断器。

2. 熔体额定电流的确定

(1) 照明电路

熔断器额定电流 $\geq$ 被保护电路上所有照明电器工作电流之和。

(2) 电动机

1) 单台直接起动电动机: 熔断器额定电流 $= (1.5 \sim 2.5) \times$ 电动机额定电流。

2) 多台直接起动电动机: 总保护熔断器额定电流 $= (1.5 \sim 2.5) \times$ 各台电动机电流之和。

3) 减压起动电动机: 熔断器额定电流 $= (1.5 \sim 2) \times$ 电动机额定电流。

4) 绕线式电动机: 熔断器额定电流 $= (1.2 \sim 1.5) \times$ 电动机额定电流。

(3) 配电变压器低压侧

熔断器额定电流 $= (1.0 \sim 1.5) \times$ 变压器低压侧额定电流。

(4) 并联电容器组

熔断器额定电流 $= (1.3 \sim 1.8) \times$ 电容器组额定电流。

(5) 电焊机

熔断器额定电流 $= (1.5 \sim 2.5) \times$ 负载电流。

(6) 电子整流元器件

熔断器额定电流 $\geq 1.57 \times$ 整流元件额定电流。

4.2 低压开关

低压开关是低压电器的一部分，用来切断和接通 1200V 以下的交流电路中。

4.2.1 瓷底胶盖刀开关

瓷底胶盖刀开关又叫开启式负荷开关，如图 4-5 所示，具有结构简单、价格低廉、使用维修方便等优点，主要用作分支路的配电开关、照明回路的控制开关、小功率电动机的非频繁起动和停止等。

瓷底胶盖刀开关的结构如图 4-5 所示，主要由胶盖、瓷柄、底座、静触头、动触头、熔丝等组成。

1. 合理选择瓷底胶盖刀开关的方法

1) 额定电压的选择 用于照明电路时，可选用额定电压为 220V 或 250V 的二极开关；用于电动机的直接起动时，可选用额定电压为 380V 或 500V 的三极开关。

2) 额定电流的选择 用于照明电路时，开启式负荷开关的额定电流应等于或大于断开电路中各个负载额定电流的总和。

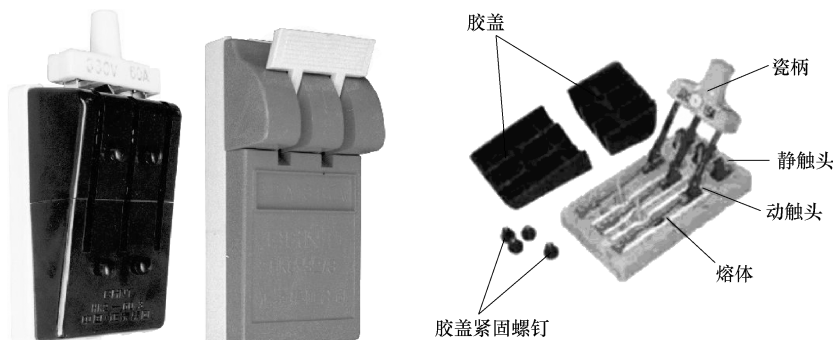


图 4-5 瓷底胶盖刀开关

2. 安装及使用要求

1) 安装时不准横装和倒装必须垂直地安装在控制箱或开关板上，使电源进线孔在上方。

2) 接线时电源进线和出线不能接反，否则更换熔丝时易发生触电事故。

3) 分断负载时，应尽快拉闸，以减小电弧的影响。

4) 使用时，如动触头和静触头接触歪斜，会使接触电阻增大，动触头和静触头因过热而损坏，应及时修复。

5) 修复后的开关，合闸时应保证三相触头同时合闸，如有一相没合闸或接触不良，会使电动机造成断相运行而烧毁。

6) 更换熔丝必须在开关断开的情况下进行，而且应换上与原熔丝规格相同的新熔丝。

4.2.2 板用刀开关

板用刀开关主要用于低压配电装置或动力箱中，作为不频繁地手动接通或隔离电源之用。常用的板用刀开关外形如图4-6所示。

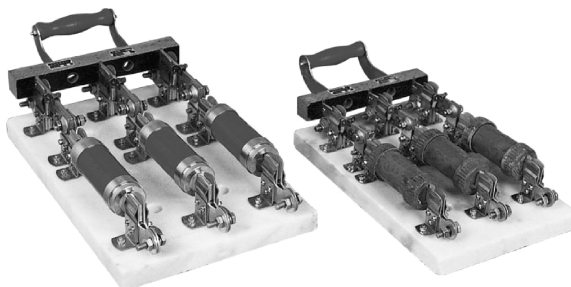


图4-6 板用刀开关

1. 低压板用刀开关的选择

1) 板用刀开关结构形式的选择是根据它在线路中的作用和它在成套

配电装置中的安装位置来确定的。仅用来隔离电源时，则只需选用不带灭弧罩的产品；如用来分断负载时，就应选用带灭弧罩，而且是通过杠杆来操作的产品。如中央手柄式刀开关不能切断负载电流，其他形式的可切断一定的负载电流，但必须选带灭弧罩的刀开关。此外，还应根据是正面操作还是侧面操作，是直接操作还是杠杆传动，是板前接线还是板后接线来选择结构形式。

HD11、HS11 用于磁力站中，不切断带有负载的电路，仅作隔离电流之用。

HD12、HS12 用于正面侧方操作前面维修的开关柜中，其中有灭弧装置的刀开关可以切断额定电流以下的负载电路。

HD13、HS13 用于正面操作后面维修的开关柜中，其中有灭弧装置的刀开关可以切断额定电流以下的负载电路。

HD14 用于动力配电箱中，其中有灭弧装置的刀开关可以带负载操作。

2) 额定电流的选择：板用刀开关的额定电流，一般应不小于所关断电路中的各个负载额定电流的总和。若负载是电动机，就必须考虑电路中可能出现的最大短路峰值电流是否在该额定电流等级所对应的电动机稳定性峰值电流以下。如有超过，就应当选用额定电流更大一级的刀开关。

2. 板用刀开关的安装与使用要求

1) 安装板用刀开关时，应注意母线与板用刀开关接线端子相连时要合适，不应存在极大的扭力，以免造成接线端子的损坏；在安装杠杆操作机构时，应调节好连杆的长度，以保证操作到位且灵活。

2) 板用刀开关应垂直安装在开关板上，并使静触座位于上方。如静触座位于下方，则当刀开关断开时，如果铰链支座松动，触刀在自重作用下掉落而发生误动作，会造成严重事故。

3) 刀开关作电源隔离开关使用时，合闸顺序是先合上刀开关，再合上其他用以控制负载的开关；分闸顺序则相反。

4) 严格按照产品说明书规定的分断能力来分断负载，无灭弧罩的刀开关一般不允许分断负载，否则有可能导致稳定持续燃弧，使刀开关寿命缩短，严重的还会造成电流短路，开关被烧毁，甚至发生火灾。

5) 对于多极刀开关，应保证各极动作的同步性，而且接触良好，否则当负载是异步电动机时，便可能发生电动机因断相运转而烧坏的事故。

6) 如果刀开关不是安装在封闭的控制箱内, 则应经常检查, 防止因积尘过多而发生相间闪络现象。

4.2.3 封闭式负荷开关

封闭式负荷开关原称铁壳开关, 适用于工矿企业、农村电力排灌和电热、照明等各种配电设备中, 供不频繁手动接通和分断负载电路使用, 具有短路保护, 也可作为交流异步电动机的不频繁起动和停止之用, 外形如图 4-7 所示, 结构如图 4-8 所示。



图 4-7 封闭式负荷开关

封闭式负荷开关的安装方法如下:

1) 负荷开关可安装在墙上或其他结构上, 也可以安装在钢支架上。负荷开关安装在墙上, 应事先量好固定螺栓的孔眼, 然后在墙上画线打洞, 埋好固定螺栓。固定在支架上时, 应先将支架埋在墙上, 然后用六角螺栓将开关固定在支架上。

2) 负荷开关必须垂直安装在配电板上, 安装的高度以操作方便和安全为原则, 一般安装在离地面 1.3 ~ 1.5m 左右。

3) 负荷开关的外壳接地螺钉必须可靠地接地或接零。

4) 电源线和负载的进线都必须穿过开关的进出线孔, 并在进出线孔加装橡皮垫圈。

5) 100A 以上的封闭式负荷开关, 应将电源进线接在开关的上桩头, 负载引出线接下桩头, 以便检修。

6) 使用操作时, 不允许面对开关进行操作, 以免发生短路故障伤人, 应用左手操作合闸。

7) 更换熔丝必须在开关断开的情况下进行, 且应换上与原熔丝规格相同的新熔丝。

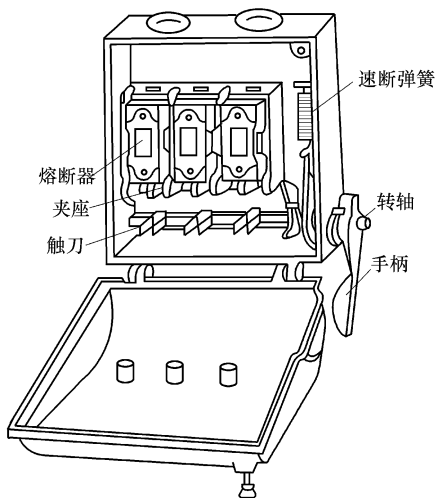


图 4-8 封闭式负荷开关的结构

4.2.4 组合开关

组合开关又叫转换开关，其外形如图4-9所示。在机床设备和其他电气设备中使用十分广泛，它体积小、接线方式多、使用非常方便。灭弧性能比刀开关好，常用于交流50Hz、380V以下，直流220V以下的电气线路中，供手动不频繁地接通或分断电路、换接电源和负载、测量三相电压、改变负载的连接方式，控制小容量交、直流电动机的正反转、星-三角形起动和变速换向等。

HZ10系列转换开关是全国统一设计产品，其通用性强，技术性能及经济效果均较好。

3LB系列转换开关是引进德国西门子公司技术生产的产品，符合IEC408、IEC204和IEC337标准的规定。

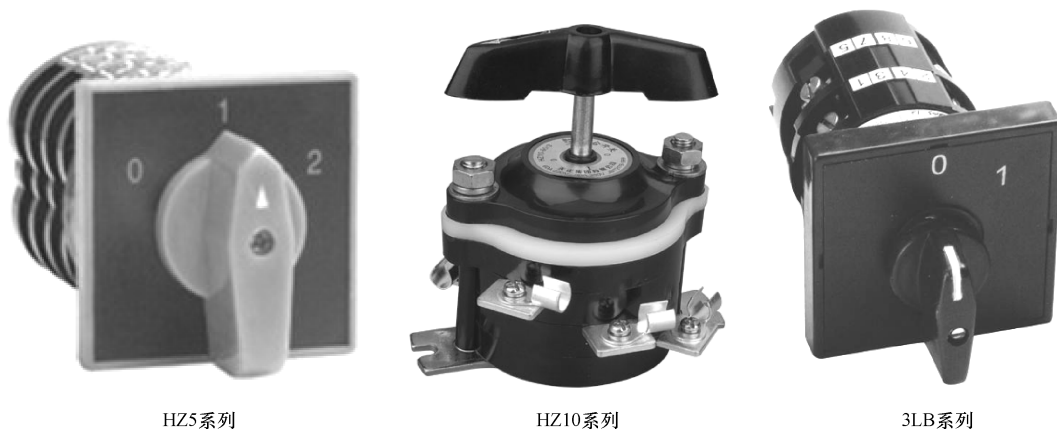


图4-9 组合开关

1. 转换开关的安装与使用

- 1) 转换开关安装时，应注意保持手柄为水平旋转位置为宜。
- 2) 由于转换开关的通断能力较低，故不能用来分断故障电流。用作电动机正反转控制时，必须在电动机完全停止转动后，才允许再进行正反转。
- 3) 当负载的功率因数为0.8~0.5时，组合开关应降低容量使用，否则会影响开关的寿命；若负载的功率因数小于0.5时，由于熄弧困难，不宜采用HZ系列组合开关。
- 4) 使用转换开关时，应保持开关清洁，面板和触头不得有油污。

2. 转换开关的常见故障分析

- 1) 手柄转动90°后，内部触头未动，可能原因如下：

- ① 手柄上的三角形或半圆形口磨成圆形；
- ② 操作机构损坏；
- ③ 绝缘杆由方形磨成圆形；
- ④ 轴与绝缘杆转配不紧；

- 2) 手柄转动后，三副静触头和动触头不能同时接通或断开，可能原因如下：

- ① 开关型号不对；

- ② 修理后触头位置装配不正确；
- ③ 触头失去弹性或有尘污。

3) 开关接线柱相间短路的原因一般是长期不清扫，铁屑或油污附在接线柱间形成导电层，将胶木烧焦，绝缘被破坏形成短路。

4.3 断 路 器

断路器原称自动空气开关，如图 4-10 所示。具有多种保护功能，动作后不需要更换元器件，动作电流可根据需要调整，工作可靠、安装方便、分断能力较强，因此被广泛应用于各种动力配电设备的开关电源、总电源开关线路和机床设备中。

低压断路器按结构形式可分为塑壳式（又称装置式）和框架式（又称万能式）两大类。塑壳式断路器的特点是外壳用绝缘材料制作，具有良好的安全性，广泛用于电气控制设备及建筑物内作电源线路保护，及对电动机进行过载和短路保护；框架式断路器为敞开式结构，适用于大容量配电装置。

4.3.1 断路器的选用

在选择低压断路器时，除根据用途选择形式和极数、根据最大工作电流选择额定电流外，还要根据需要选择脱扣器的类型，附件的种类和规格。

1. 选择时一般应参照的原则

- 1) 低压断路器的额定电压不小于被控网络的额定电压。
- 2) 低压断路器的额定电流不小于被控网络的计算负载电流。
- 3) 脱扣器额定电流不小于被控网络的计算电流。
- 4) 低压断路器的额定短路通断能力不小于线路中最大短路电流。
- 5) 低压断路器的欠电压脱扣器额定电压应等于线路额定电压。

2. 作为电动机控制保护用的低压断路器应参照的原则

- 1) 当用于单台电动机时，低压断路器瞬时脱扣器动作电流为电动机起动电流的 1.35 倍（DW 型低压断路器）或 1.7 倍（DZ 低压断路器）。



图 4-10 断路器

2) 当用于多台电动机时, 低压断路器瞬时脱扣器动作电流: 最大一台电动机的起动电流 $\times 1.35$ 倍其余电动机的工作电流; 热脱扣器的额定电流一般按电动机的最大工作电流选择, 但应躲过电动机的起动电流, 即在电动机起动时间内不动作。

3. 作为照明用的低压断路器应参照的原则

- 1) 长延时动作电流整定值不大于网络计算负载电流。
- 2) 瞬时电流整定值等于 6 倍网络计算负载电流。

4. 作为配电变压器低压侧总开关使用时应参照的原则

低压断路器的分断能力应大于变压器低压侧出口处的短路电流值。脱扣器的额定电流不应小于变压器的额定电流。瞬时脱扣器的额定电流, 一般为变压器低压额定电流的 6 ~ 10 倍; 过载保护脱扣器的额定电流, 一般等于变压器的额定电流。

4.3.2 低压断路器的安装要求

- 1) 安装前应用 500V 绝缘电阻表检查断路器的绝缘电阻。在周围介质温度为 $20\% \pm 5^{\circ}\text{C}$ 和相对湿度为 50% ~ 70% 时应不小于 $10\text{M}\Omega$, 否则应烘干。
- 2) 低压断路器在闭合和断开过程中, 其可动部件与灭弧室的零件应无卡阻现象。
- 3) 电源引线应接到标有 “ $\angle$ ” 标志的上端。
- 4) 安装低压断路器时, 应将脱扣器电磁铁工作面的防锈油脂擦去, 以免影响电磁机构的动作值。
- 5) 应垂直安装在配电板上, 底板结构必须平整, 否则旋紧安装螺钉时, 可能会损坏断路器外壳。电源进线必须接在开关灭弧室侧的接线端上。为保证检修安全, 应在低压断路器上方串接有明显断开点的刀开关或熔断器。
- 6) 安装时应保证外装灭弧室至相邻电器的导电部分和接地部分之间的安全距离。
- 7) 不应漏装断路器附有的隔弧板, 装上后方可投入运行, 以防止切断电路产生电弧时引起相间短路。
- 8) 在进行电气连接时, 电路中应无电压。被连接的母线或电缆应将其接近低压断路器接线处加以紧固, 以免各种机械和负载的电动力传递到断路器上。
- 9) 有些塑壳式断路器, 只有取下盖子才能安装, 安装时不要旋动开关内部的调整螺钉, 以免影响脱扣器的动作特性而发生误动作。
- 10) 安装完毕后, 应使用手柄或其他传动装置检查断路器工作的准确性和可靠性。如检查失电压、分励及过电流脱扣器能否在规定的动作范围内使断路器断开; 检查电磁操作的断路器能否在规定的动作值范围内使断路器可靠的闭合。

4.4 交流接触器

交流接触器是一种常见的低压电器, 它与其他电器元件 (如熔断器等) 相配合, 可实现远距离控制闭合及断开电路。接触器是靠吸持电磁铁来合闸与分闸的低压开关。适用于电压为 1200V 以下的交、直流电动机及其他操作频繁的电路中, 作为远距离操纵或自动控

制的开关电器。它只能切断额定电流，不能切断过负载和短路电流，因此不能用它来保护电气设备，如图 4-11 所示常用交流接触器的外形。

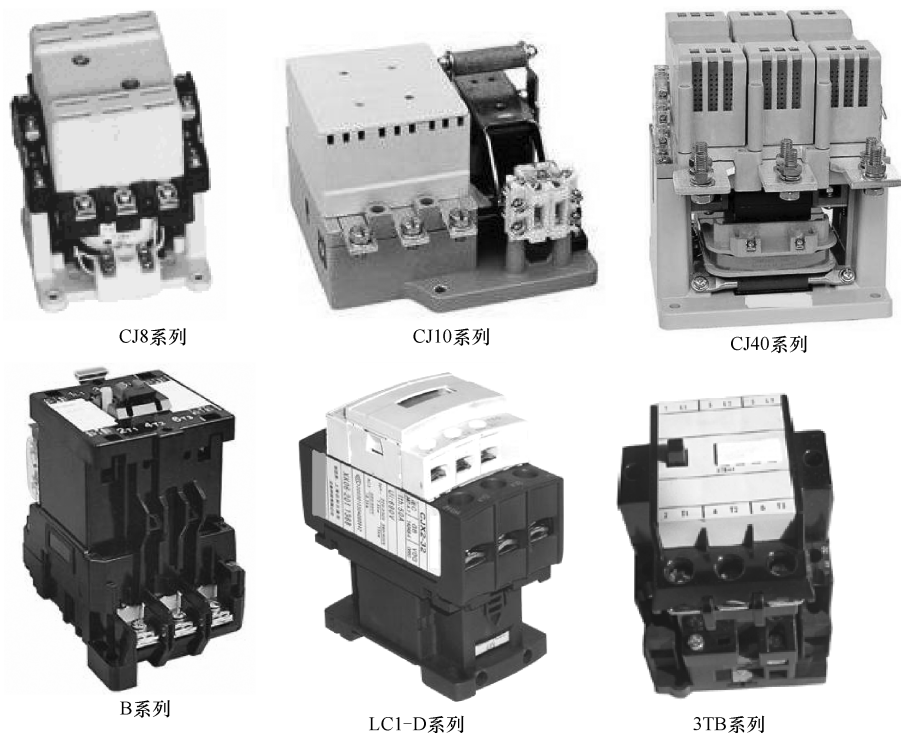


图 4-11 接触器

4.4.1 交流接触器的选用与运行维护

1. 选用

1) 主回路触点的额定电流应大于或等于被控设备的额定电流，控制电动机的接触器还应考虑电动机的起动电流。为了防止频繁操作的接触器主触点烧蚀，频繁动作的接触器额定电流可降低使用。

2) 接触器的电磁线圈额定电压有 36V、110V、220V、380V 等，电磁线圈允许在额定电压的 80% ~ 105% 范围内使用。

2. 运行维护

(1) 运行中检查项目

- ① 通过的负载电流是否在接触器额定值之内；
- ② 接触器的分合信号指示是否与电路状态相符；
- ③ 运行声音是否正常，有无因接触不良而发出放电声；
- ④ 电磁线圈有无过热现象，电磁铁的短路环有无异常；
- ⑤ 灭弧罩有无松动和损伤情况；
- ⑥ 辅助触头有无烧损情况；

⑦ 传动部分有无损伤；

⑧ 周围运行环境有无不利运行的因素，如振动过大、通风不良、尘埃过多等。

(2) 维护 在电气设备进行维护工作时，应一并对接触器进行维护工作。

1) 外部维护：

① 清扫外部灰尘；

② 检查各紧固件是否松动，特别是导体连接部分，防止接触松动而发热。

2) 触头系统维护：

① 检查动、静触头位置是否对正，三相是否同时闭合，如有问题应调节触头弹簧；

② 检查触头磨损程度，磨损深度不得超过 1mm，触头有烧损，开焊脱落时，须及时更换；轻微烧损时，一般不影响使用。清理触头时不允许使用砂纸，应使用整形锉；

③ 测量相间绝缘电阻，阻值不低于 10MΩ；

④ 检查辅助触头动作是否灵活，触头行程应符合规定值，检查触头有无松动脱落，发现问题时，应及时修理或更换。

3) 铁心部分维护：

① 清扫灰尘，特别是运动部件及铁心吸合接触面间；

② 检查铁心的紧固情况，铁心松散会引起运行噪声加大；

③ 铁心短路环有脱落或断裂要及时修复。

4) 电磁线圈维护：

① 测量线圈绝缘电阻；

② 线圈绝缘物有无变色、老化现象，线圈表面温度不应超过 65℃；

③ 检查线圈引线连接，如有开焊、烧损应及时修复。

5) 灭弧罩部分维护：

① 检查灭弧罩是否破损；

② 灭弧罩位置有无松脱和位置变化；

③ 清除灭弧罩缝隙内的金属颗粒及杂物。

4.4.2 交流接触器的常见故障分析

1. 通电后不能合闸

① 检查线圈供电线路是否有断路，把断开点重新接好；

② 检查起动按钮触头是否接触不良；

③ 检查线圈额定电压是否比线圈电压高，应更换额定电压合适的线圈；

④ 检查触头与灭弧室壁之间是否卡住，或其他可动零部件与其运行导轨或导槽之间是否卡住；

⑤ 检查转轴是否生锈或歪斜，拆下来清洗除锈或更换已磨损零部件，上润滑油；

⑥ 检查控制电路电源电压是否过低，调整电源电压；

⑦ 检查释放弹簧压力是否过大，应调整；

⑧ 检查触头行程是否过大，应调整。

2. 运行中噪声过大或发生振动

- ① 检查线圈电压是否不足，应调整线圈电压；
- ② 检查铁心极面积是否有污垢、生锈、因磨损过度而不平，应清理极面，必要时应整修；

- ③ 检查短路环是否断裂，应更换新短路环；
- ④ 检查动、静铁心夹紧螺钉是否松动，应将螺钉拧紧；
- ⑤ 检查可动部分是否配合不当，查明故障后进行调整；
- ⑥ 检查反作用力弹簧是否过大。

3. 松开起动按钮接触器立即释放

- ① 检查接触器辅助触头是否接触不良，应清理辅助触头或更换新触头；
- ② 检查控制回路中触头是否接触不良，查明接触不良的触头加以更换或清理；
- ③ 检查自锁触头的接线是否有误。

4. 接触器动作过于缓慢

- ① 检查动、静铁心间的间隙是否过大，调整机械部分，减小间隙；
- ② 检查安装位置是否不妥，按产品说明书或技术条件规定重新更换；
- ③ 检查线圈电压是否不足，调整线圈电压；
- ④ 检查反作用力弹簧是否过大。

5. 断电后接触器不能释放

- ① 检查反作用力弹簧是否过小，应换上合适的弹簧；
- ② 检查剩磁是否过大，对于直流接触器，应更换或加厚非磁性垫片，对于交流磁系统，应将剩磁间隙处极面锉去一部分或更换磁系统；
- ③ 检查新接触器铁心表面所涂凡士林是否没擦净；
- ④ 检查可动部分是否被卡住；
- ⑤ 检查接触器的安装位置是否不妥当；
- ⑥ 检查触头是否熔焊在一起，撬开已熔焊在一起的触头或更换新触头；
- ⑦ 检查控制线路接线是否有错，应重新查对线路。

6. 接触器的线圈有损坏或烧毁或引出线断裂

- ① 是否因空气潮湿或含腐蚀性气体，导致线圈绝缘损坏；
- ② 检查线圈内部是否断线，更换新线圈；
- ③ 检查接触器是否因碰撞或振动导致机械损伤；
- ④ 检查线圈额定电压比控制回路是否低；
- ⑤ 检查线圈的通电持续率是否与实际情况不符；
- ⑥ 检查线圈是否超过规定电压运行；
- ⑦ 检查接触器是否欠电压运行，动铁心是否不能吸合；
- ⑧ 交流线圈的操作频率是否过高；
- ⑨ 检查双线圈结构是否因自锁触头焊住，以致起动绕组长期通电；
- ⑩ 检查接触器周围环境温度是否过高；

- ⑪ 检查接触器线圈匝间是否短路；
- ⑫ 检查接触器线圈是否因机械损伤或附有导电尘埃而发生局部短路；
- ⑬ 检查接触器接头焊接是否不良，以致因接触电阻过大而烧毁；
- ⑭ 检查接触器线圈电流是否过大，应调整。

7. 检查接触器触头是否严重发热

- ① 检查负载电流是否过大；
- ② 检查触头是否生锈严重、积尘过多，或铜触头已经严重氧化；
- ③ 检查接触器触头行程是否过小，能调整就调整，不能调整就更换；
- ④ 检查接触压力是否不足；
- ⑤ 接线是否松动。

8. 接触器主触头熔焊

- ① 闭合过程中振动是否过于剧烈，是否是由于供电电压过高造成的；
- ② 接触压力是否不足；
- ③ 触头分断能力是否不足；
- ④ 触头表面是否有金属颗粒突起或异物。

4.5 继 电 器

4.5.1 热继电器

热继电器是由流入热元件的电流产生热量，使有不同膨胀系数的双金属片发生形变，当形变达到一定距离时，就推动连杆动作，使控制电路断开，从而使接触器失电，主电路断开，实现电动机的过载保护。继电器作为电动机的过载保护元件，以其体积小、结构简单、成本低等优点在生产中得到了广泛应用，其外形如图 4-12 所示。



图 4-12 热继电器

1. 热继电器类型选择

一般轻载起动、长期工作的电动机或间断工作的电动机，选择二相结构的热继电器；若电流电压均衡性较差、工作环境恶劣或较少有人看管的电动机，可选用三相结构的热继

电器，而三角形联结的电动机，应选用带断相保护装置的热继电器。

2. 热继电器参数选择

1) 热继电器的额定电流应略大于电动机的额定电流。

2) 热元件的额定电流应略大于电动机的额定电流。

3) 根据热继电器型号和热元件额定电流，即可查出热元件整定电流的调节范围。一般将热继电器的整定电流调整到电动机的额定电流；对过载能力差的电动机，可将热元件整定值调整到电动机额定电流的 0.6 ~ 0.8 倍；若电动机起动时间较长、拖动冲击负载或不允许停车，热元件整定电流调节到电动机额定电流的 1.1 ~ 1.15 倍。

4.5.2 时间继电器

时间继电器（见图 4-13）是在电路中按照时间起控制作用的继电器。当它的感测部分接受输入信号以后，需要经过一定时间（通电或断电）延时，它的执行机构才会动作，并输出信号以操纵控制回路。

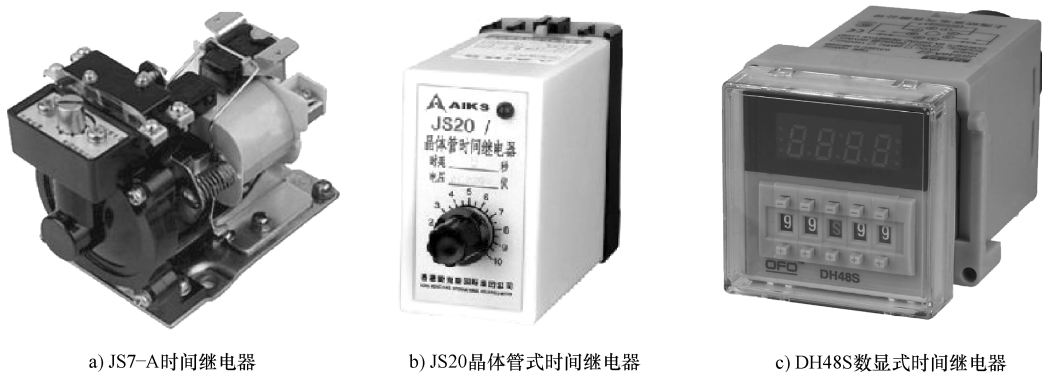


图 4-13 时间继电器

时间继电器的选用：

(1) **延时方式的选择** 时间继电器有通电延时型和断电延时型两种，应根据控制线路的要求来选择。

(2) **类型选择** 对延时要求不高的场所，一般选用空气阻尼式时间继电器，如价格低廉的 JS7-A 系列时间继电器。若对延时要求较高，可选用晶体管时间继电器，如 JS11、JS20 或 7PR 系列时间继电器。

(3) **线圈电压选择** 根据控制线路电压来选择时间继电器吸引线圈的电压。

4.5.3 过电流继电器

过电流继电器（见图 4-14）主要用于重载或频繁起动的场合作为电动机和主电路的过载和短路保护。

过电流继电器的线圈串联在主电路中，常闭触头串接于辅助电路中，当主电路的电流高于允许值时，过电流继电器吸合动作，常闭触头断开，切断控制回路。



图 4-14 过电流继电器

过电流继电器的选用原则如下：

- 1) 额定电流：过电流继电器线圈的额定电流一般可按电动机长期工作的额定电流来选择，对于频繁起动的电动机，考虑起动电流在继电器中的热效应，额定电流可选大一级。
- 2) 整定电流：过电流继电器的整定电流一般为电动机额定电流的 1.7 ~ 2 倍，频繁起动场合可取 2.25 ~ 2.5 倍。

4.6 漏电保护器

漏电保护器（见图 4-15）是为了防止人身触电伤亡事故以及漏电而引起电气火灾和电气设备损坏事故的保护电器。了解和掌握漏电保护器的原理、安装和使用的有关知识，是广大电工人员做好安全工作的一项重要内容。



图 4-15 漏电保护器

4.6.1 漏电保护器动作电流和动作时间的调整

漏电保护器能否起到应有的保护作用，关键是动作电流和动作时间的选择。

1. 漏电动作电流的选择

漏电动作电流，是指生产厂家规定的、使漏电保护器动作的漏电电流。

漏电总保护在躲过低压电网正常漏电情况下，漏电动作电流应尽量选小，以兼顾人身和设备安全的要求。农村低压电网的不平衡漏电电流值，一般为 15 ~ 30mA，有的甚至超过 50mA。当不平衡漏电电流为 15mA 左右时，漏电动作电流整定在 30 ~ 60mA 比较合适；当不平衡漏电电流为 30mA 左右时，漏电动作电流可相应整定在 60 ~ 100mA。

总保护器的额定动作电流值，宜选用有可调档次的，以便在运行中随着电网对地漏电电流的变化，调整其动作电流整定值。漏电总保护器整定的最大值可参照表 4-1 确定。具体的调整数值，应按各地漏电保护器管理制度的规定执行。

表 4-1 总保护器的最大额定动作电流 (单位: mA)

电网类别	非阴雨季	阴雨季
漏电电流较小的电网	57	200
漏电电流较大的电网	100	300

漏电末级保护的漏电动作电流值，应小于上一级漏电保护的動作值，但不应大于以下相应情况的数值：家用电器、固定安装电器、移动式电器、便携式电器及临时用电设备为 300mA；手持式电动工具为 10mA；特别潮湿的场所为 6mA。

漏电中级保护器，其额定漏电动作电流应介于上、下级漏电动作电流值之间。具体数值可根据电力网的分布情况确定。

2. 漏电动作时间的选择

漏电保护器的动作时间，对保护器能否起到保护效果，起着关键的作用。国际电工委员会（IEC）规定：以 30mA · s 作为人身触电时的安全值。人身触电时，通过人体的电流是由客观条件决定的，所以只能采取措施使保护器迅速动作，切断电源，才能使人减轻触电时的伤害。

低压电网实施分级保护时，上、下级保护漏电动作时间应协调配合，以免造成越级跳闸。总保护器及中级保护器选用延时型的，漏电末级保护器选用快速动作型的。总保护、中级保护及末级保护间每级相隔延时 0.2s。

4.6.2 漏电保护器的安装

1. 漏电保护器的选择

1) 漏电保护器必须选用符合国家标准的产品；产品应有生产许可证和产品的安全认证标志。我国电工产品的安全认证标志为长城标志。

2) 根据保护的對象和保护要求，正确选择漏电保护器的极数、额定电流、漏电动作电流、漏电动作时间等。

电磁式和电子式漏电保护器的性能比较参见表 4-2，广大农电工可以参考该表合理地选择漏电保护器。

表 4-2 电磁式和电子式漏电保护器的性能比较

项 目	电 磁 式	电 子 式
灵敏度	以 30mA 为限。额定电流 100A 以上的大容量产品提高灵敏度有困难。16A 以下小容量产品可做到 10mA	灵敏度高,不论产品容量大小,都可以较经济地实现 6mA 及以上动作的要求

(续)

项 目	电 磁 式	电 子 式
电源电压对特性的影响	无影响。在断相或电源电压降低时也能可靠动作	有影响。在断电或电源电压低时,影响动作特性,甚至拒动(有稳压电源时,可以减少影响)
环境温度对特性的影响	很小	有(采用温度补偿可减小影响)
绝缘耐压能力	强,可满足 2000V 或 2500V/1min 的耐压试验	弱,只能按电子元件要求进行试验
耐雷电和电压冲击能力	强	弱(有过电压吸收器时,可提高耐压能力)
延时和反时限特性	比较困难,目前只能制造速动型的产品	较容易
耐机械冲击和振动能力	一般较差	较强
外界磁场干扰	较小	较强(电子网络采取防干扰措施后,可减小影响)
结构	复杂	简单
制造要求	精密	简单
动作时间	动作速度快,一般小容量产品,可以做到小于 0.04s	动作速度比电磁式长,目前做到小于 0.04s 困难
接线要求	进出线倒接不影响开关特性	进出线不可倒接,否则要损坏开关
装置容量	制成组装式的大容量漏电开关困难,一般为 125A 以下	可以制成组装式的大容量漏电开关,目前国外最大可到 1200A
价格	较贵,100A 以上很贵	较便宜,100A 以上比电磁式便宜得多
辅助电源	不需要	需要

2. 漏电保护器安装前的检查

1) 检查漏电保护器的生产厂家是否具有国家认证的资质。

2) 检查漏电保护器的外观应良好无缺陷。

3) 接入额定电压的临时电源,在空载状态下按动试验按钮,逐台检查该装置是否动作正常,或用漏电保护检测仪进行实地检测。

4) 核定漏电保护装置的额定电压、额定电流、短路分断能力、额定漏电动作电流、分断时间应满足被保护供电线路和电气设备的要求。

5) 带短路保护的漏电保护装置,其短路接通分断能力,必须大于电路短路可能产生的最大短路电流,否则应当采用一个具有更大短路分断能力的短路保护装置作为后备保护(如增设熔断器或断路器)。不带短路保护的,电路中必须设置熔断器或断路器作为短路保护,漏电保护器的额定限制短路电流必须大于回路的最大短路电流。

6) 对于不熟悉的漏电保护器必须按产品说明书确认识别主回路端子、辅助电源端子、辅助触头、手柄及试验按钮和操作位置。

3. 漏电保护器的安装

(1) 漏电保护器的安装要求

1) 保护器应安装在无腐蚀性气体、无爆炸性危险的场所,应注意防潮、防尘、防振动和放阳光直晒。

2) 组合式保护器主回路控制开关宜带分励脱扣的低压断路器,也可采用交流接触器。

采用交流接触器时，100A 以上的应采用直流或无压运行。

3) 组合式保护器安装穿心式零序电流互感器时，其穿越的回路电线应并拢绞合后再行穿过，且在两端保持不小于 100mm 的长度后才能分开，防止在正常情况下不平衡磁通引起误动作。

4) 组合式保护器外部连接的控制回路，应采用同心绝缘电线，其截面积不应小于 1.5mm^2 。组合式保护器的漏电继电器，宜安装在配电盘正面，便于维护操作的位置，一般距地面为 800 ~ 1500mm。

5) 安装漏电保护器时，应按照厂家提供的说明书进行接线，避免因接线错误引起保护器的误动作或烧毁保护器。

(2) 漏电保护器的接线示例

1) 单相漏电保护器的接线：一般安装在电源末端，安装时可与单相电能表、熔断器固定在一块板上，如图 4-16 所示。

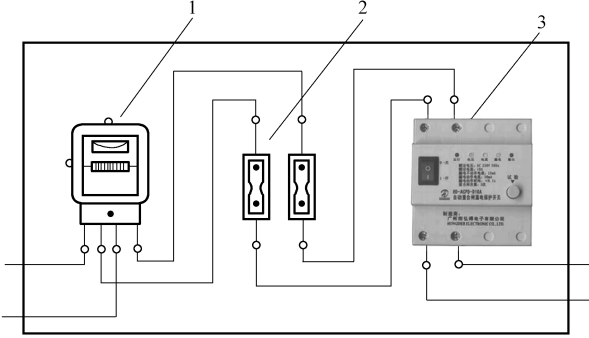


图 4-16 单相漏电保护器的安装

1—单相电能表 2—熔断器 3—单相漏电开关

2) 三相漏电保护器的安装：主要用于以电动机为负载的三相线路中，一般安装在线路的末端，如图 4-17 所示。

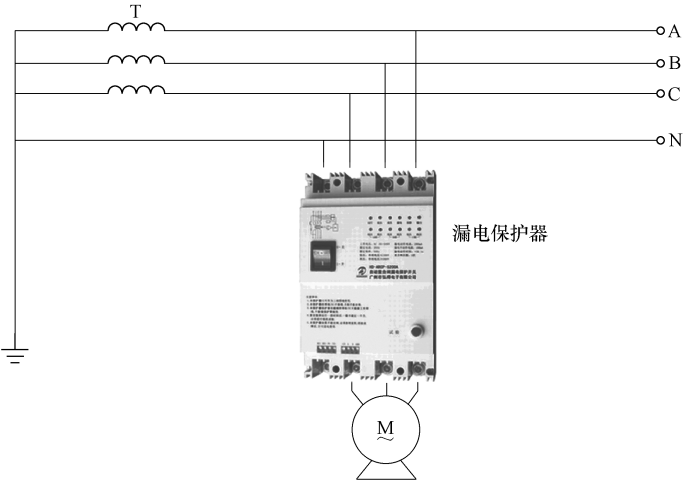


图 4-17 三相漏电保护器的接线

3) 漏电继电器与其他电器配合时的几种接线形式：漏电继电器因不能直接切断主回路电源，因此必须与交流接触器或带分励脱扣器的低压断路器配合使用，其接线示例如图4-18和图4-19所示（图中仅为说明，具体接线还应参照产品说明书）。

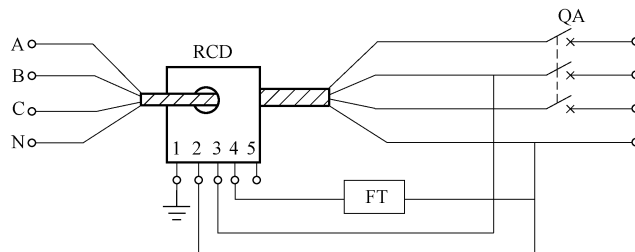


图 4-18 漏电继电器配低压断路器运行

RCD—漏电继电器 FT—分励脱扣器 QA—低压断路器

1—接地接线柱 2—零线接线柱 3—相线接线柱 4—常开接线柱 5—常闭接线柱

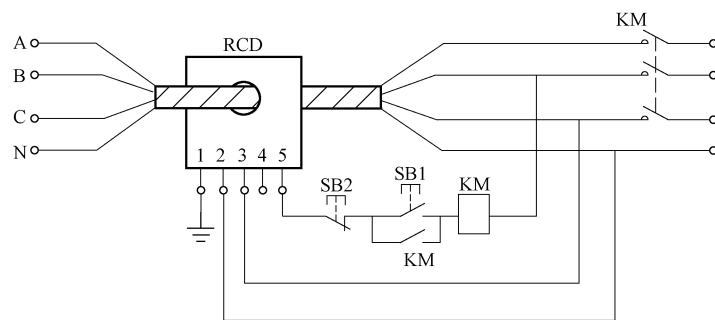


图 4-19 漏电继电器配交流接触器运行

RCD—漏电继电器 KM—交流接触器 SB1—起动按钮 SB2—停止按钮

1—接地接线柱 2—零线接线柱 3—相线接线柱 4—常开接线柱 5—常闭接线柱

(3) 漏电保护器安装后的试验 保护器安装后应进行如下检测，检测合格后，才能投入运行。

- 1) 带负载分合开关3次，不得误动作；
- 2) 用试验按钮试验3次，应正确动作；
- 3) 各相用试验电阻接地试验3次，应正确动作。

变压器安装技能

5.1 变压器在电力系统中的作用

变压器是电力系统中重要的电气设备，它的作用是把某一电压的交流电能转换为同频率的另一种电压的交流电能。在生产和生活中使用的电能是由发电厂的发电机生产的。但是由于受绝缘水平的限制，发电机发出的电压一般比较低（如 6.3kV、10.5kV 等），往往用电的地方都远离发电厂，而输送一定功率的低电压电能至远方，将会造成很大的电能损失，甚至是不可能的。因此，要把发电厂生产出来的电能，升高电压后（至 35kV、110kV、220kV、330kV 及 500kV 等），送到接近负载的地方。为了方便使用和用电的安全，在用电地区又需要用降压变压器逐级将电压降低。由图 5-1 所示，在整个电能的输送、分配和使用过程中，变压器是不可缺少的电气设备。

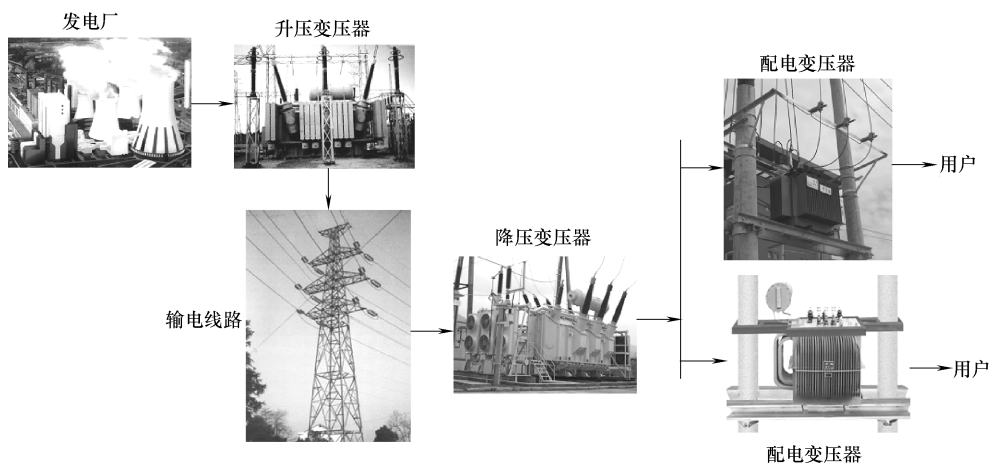


图 5-1 输、变、配电系统图

5.2 变压器的工作原理

变压器是根据电磁感应原理制成的，变压器的基本工作原理如图 5-2 所示。它由一个闭合铁心和套在铁心上的两个不同匝数的绕组组成。一次绕组匝数为 N_1 ；二次绕组匝数为 N_2 ，如果在二次绕组上接一个灯泡作为负载，当一次绕组接到交流电源上时，交流电

便在铁心中产生交变磁通（称为主磁通 Φ ），这个交变磁通将使一次绕组中产生自感电动势，在二次绕组中产生互感电动势。对于负载来说，二次绕组的这个电势就相当于电源电动势，因而在二次绕组与灯泡连接的回路中产生电流，使灯泡发亮。

从上面的分析中我们可以看到，变压器的一次绕组所接电源提供的电能，通过铁心中的主磁通这个“媒介”，传递到二次绕组，这就是变压器的工作原理。因此变压器是一种传递电能的电气设备，它只能传递电能，而不能产生电能。

由于一二次绕组中产生不同的感应电动势，它们之间的关系为

$$\frac{\text{一次绕组的感应电动势 } E_1}{\text{二次绕组的感应电动势 } E_2} = \frac{\text{一次绕组的匝数 } N_1}{\text{二次绕组的匝数 } N_2} = k$$

由于绕组本身有阻抗，当电流通过时，在绕组上会有一个电压降，所以一次绕组的感应电动势与一次绕组本身的电压降加起来，才等于电源提供的电压 U_1 。但是一般来说，绕组本身的阻抗很小，可以忽略不计，因此可以近似地认为 E_1 和 U_1 相等。同样道理，可以近似地认为 E_2 和二次输出电压 U_2 相等，这样就可以近似地认为

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

变压器一次绕组的匝数与二次绕组匝数之比，称为变压器的变比，常用 k 表示，即

$$\frac{N_1}{N_2} = k$$

若将变压器本身在工作中发热等一些能量损失忽略不计，可以近似地认为变压器输入功率 P_1 等于变压器的输出功率 P_2 ，这样就有 $U_1 I_1 = U_2 I_2$ ，则可以得出：

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

这就是变压器的基本公式。从式中可以看出，变压器可以改变电压，即匝数多的绕组一边电压高，匝数少的绕组一边电压低。同时变压器也可以改变线路电流，匝数多的一边电流小，匝数少的一边电流大。

电力系统中广泛使用的三相变压器，它的基本原理与上面介绍的单相变压器是相同的。三相变压器的一次和二次侧各有三个绕组，分

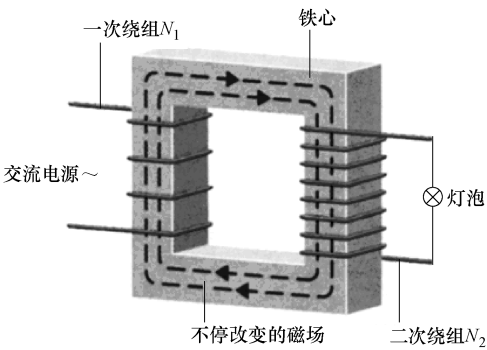


图 5-2 变压器的基本工作原理图

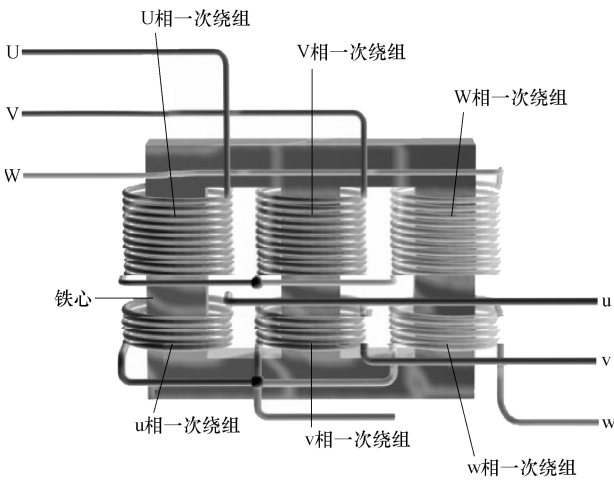


图 5-3 三相变压器的结构原理

别套在三个铁心上。三相变压器的结构原理如图 5-3 所示。就三相变压器的每一相来说，都相当于一个单相变压器。

5.3 变压器的联结组标号

变压器的联结组标号是指三相变压器中每一相中两个（一、二次）绕组的连接方式。一般是用时钟表示法画出变压器的联结组标号，其中时钟的长针表示变压器高压绕组的线电压，并要求长针固定在 12（0）点的位置上，而把低压绕组相对应的线电压作为时钟的短针，短针指在几点钟的位置上，就以这个钟点作为联结组标号。

三相变压器的三相绕组可连接成星形、三角形等，高压绕组一般用字母 Y、D 和 Z 表示，低压绕组分别用 y、d、z 表示，有中性点引出时则用 YN、ZN 和 yn、zn 表示。

我国规定三相电力变压器的标准联结组为 Yyn0；Yy0；Yy0；YNy0；Yd11 和 YNd11 五种，见表 5-1 的详细介绍。

表 5-1 电力变压器联结组标号

联结组标号	绕组连接图	电压相量图		适用场合
		高压	低压	
Yyn0				三相四线制供电,用于同时有动力负载和照明负载的场合
Yy0				三相动力负载
YNy0				高压中性点需接地,而低压供给三相动力负载的场合

(续)

联结组标号	绕组连接图	电压相量图		适用场合
		高压	低压	
Yd11				一次侧接小于 35kV 的高压,二次侧接大于 400V 的低压
YNd11				高压需中性点接地的电力系统

5.4 变压器的结构

变压器由铁心和绕组两部分组成,它们合称为器身。为了安全可靠地运行,油浸式变压器的器身放置于灌满变压器油的油箱中,油箱上还配置有储油柜、绝缘套管、安全气道、气体继电器、散热器及其他附属设备。图 5-4 所示是变压器的外部结构。

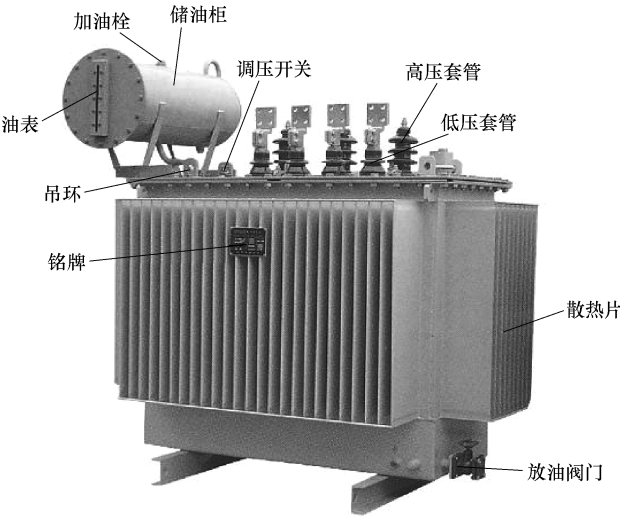


图 5-4 变压器外部结构

1. 高、低压绝缘套管

变压器高、低压绝缘套管是变压器箱外的主要绝缘装置,也是变压器对地绝缘、固定

高、低压绕组的接线与外电路连接的主要部件，如图 5-5 所示。绝缘套管的作用是将高压和低压绕组由箱内引至箱外，大部分变压器绝缘套管的外部采用陶瓷制成，中间为导电杆。绝缘套管装在变压器油箱的顶盖上，导电杆的一端在油箱内部，分别与变压器的高、低压绕组的接线端点连接，在油箱外部的一端与外部电路相连。

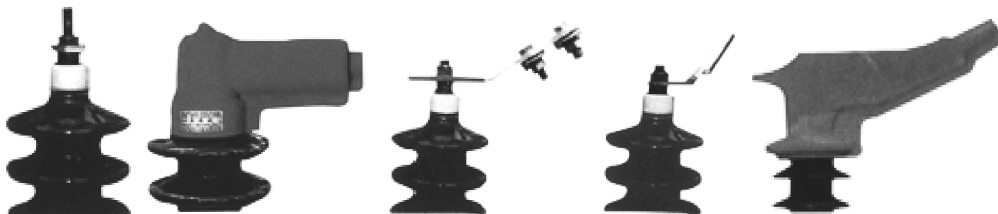


图 5-5 变压器的高、低压绝缘套管

变压器的高压绝缘套管的外形高而大，低压绝缘套管的外形矮而小。通常可以由套管的大小来识别一台变压器的高、低压侧。

安装中在拧卸高、低压套管上的螺钉时，一定要注意不要使螺栓转动，以免引起变压器内部引线短路，造成事故。

2. 油箱

油箱是变压器的外壳，是用钢板焊成的，如图 5-6 所示。容量大的变压器多采用油浸式，把整个铁心和绕组放在油箱内，这是因为变压器油的绝缘性能比空气好，从而缩小变压器尺寸，节省材料。并且，油加热后可加速对流作用，及时将绕组和铁心的热量传到油箱壁和散热器壁，有效地改善散热条件。



图 5-6 变压器的油箱

3. 电压分接开关

电压分接开关如图 5-7 所示。

其作用是改变变压器高压绕组的抽头以改变变压器的变压比进行调压。在变压器一次侧的三相绕组中，根据不同匝数引出几个抽头，这几个抽头按照一定的接线方式，接在分接开关上。开关的中心有一个转动的触头，当变压器需要调整电压时，改变分接开关的位置，实际上是通过转动触头改变了绕组匝数，这样就改变了变压器的变压比。一般变压器的分接开关装于变压器的高压侧绕组上，这是由于高压侧绕组电流小，绕组抽头及其触头较容易制作和进行调节，但绝缘要求相对较高。通常，电压在 35kV 及其以下、容量在

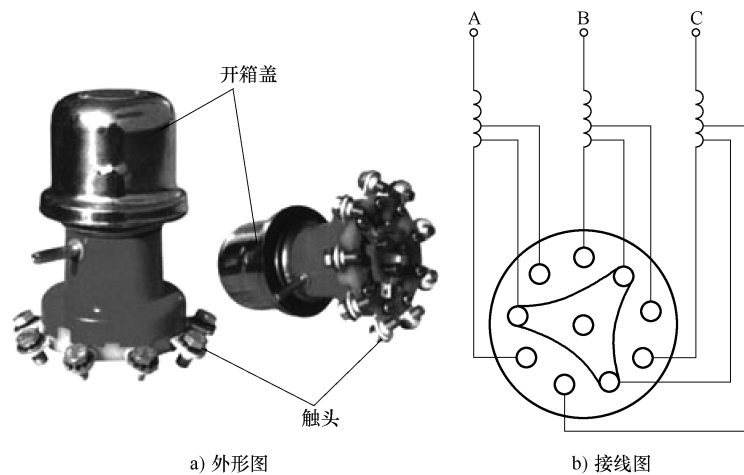


图 5-7 电压分接开关

1000kV·A 及其以下的电力变压器中，其分接开关一般有 3 个分接抽头，中间一个为额定电压，上、下两个分别为额定电压 $\pm 5\%$ 的电压偏移量。

4. 铁心

铁心是构成变压器磁路的部件，由铁心柱和铁轭两部分组成，铁心柱上套装有绕组，而铁轭使整个磁路形成闭合回路，如图 5-8 所示。

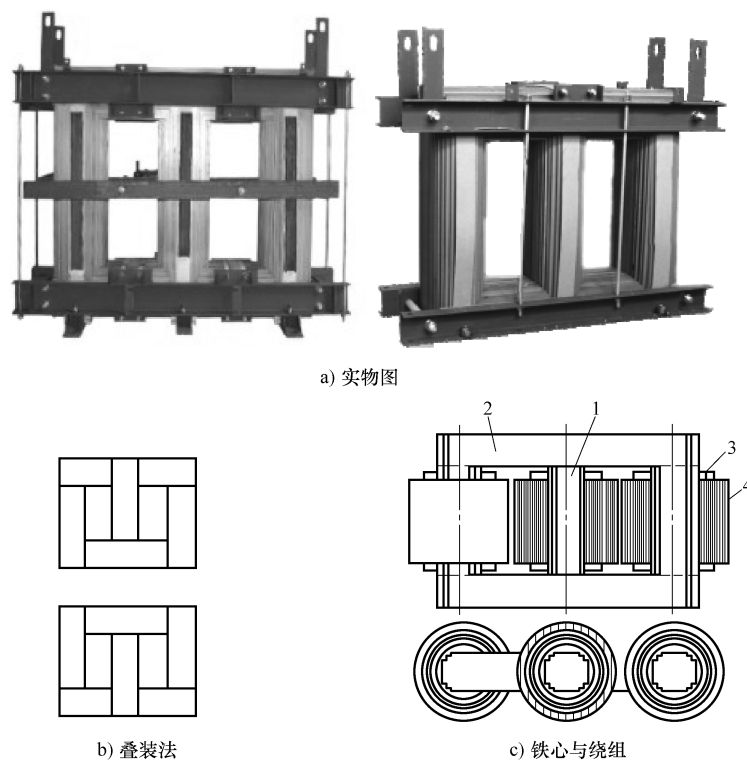


图 5-8 变压器的铁心和绕组

1—铁轭 2—铁心柱 3—低压绕组 4—高压绕组

为了提高磁路的磁导率、减小涡流和铁心的功率损耗，铁心一般由 0.35mm 厚的硅钢片交错叠装而成，片间涂以 0.01 ~ 0.013mm 厚的漆膜，硅钢片分为热轧和冷轧两种。冷轧片由于顺碾压方向具有良好的导磁性能，所以采用了斜接缝切片交错叠装的方法，各层的接缝应错开，一般采用 45°斜接缝，这样可以减少拐角处的附加损耗。目前生产的电力变压器其铁心都采用冷轧片制造。

中小型单相变压器采用单相双柱式铁心。两个铁心柱上均可套装绕组，既可互相串联也可可并联，铁心柱与铁轭截面相同。

变压器铁心必须接地，因为变压器运行时，铁心处在强电场中，具有很高的电位，如果不接地，势必与接地的油箱、铁轭之间产生较高的电位差而导致放电现象，造成变压器事故。但若铁心硅钢片几点接地，则硅钢片沿接地处形成涡流通路，使涡流损失加大，造成铁心局部发热，这是不允许的。硅钢片之间虽然涂有绝缘漆，但其绝缘电阻较小，只能隔断涡流而不能阻止高压感应电流，故只要将一片硅钢片接地就相当于整个铁心都接地。

5. 绕组

绕组是变压器的电路部分（见图 5-9），一般变压器都有一次、二次绕组。变压器的绕组是由具有良好绝缘的漆包线绕成一定形状、一定匝数的线圈组成。和电源相连的绕组，即接受外加交流电能的线圈称为一次绕组，（原称初级绕组或原边绕组，简称初级或原边）。而与负载相连接的绕组，是向外输出电能的线圈称为二次绕组（原称次级绕组或副边绕组，简称次级或副边）。

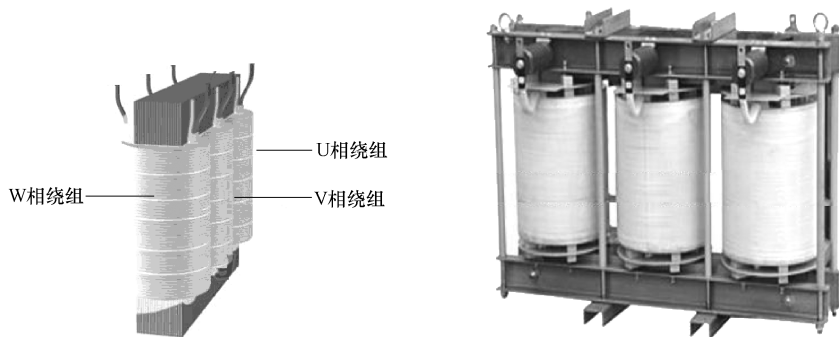


图 5-9 变压器的绕组

小型电力变压器常用漆包线绕制，中大型电力变压器中常采用绝缘扁铜线或铝线制成，环氧树脂干式浇注变压器也可用铝箔绕制。

变压器的绕组一般采用同心式绕制。为便于绝缘及安装电压分接头，低压绕组置于内层，靠近铁心，高压绕组置于外层，因为高压绕组绝缘要求高。若低压绕组在外，高压绕组就贴近铁心，这样必须加强绝缘，造成变压器造价提高。内外层绕组之间留有油道，供变压器油循环冷却时流通。

6. 变压器油

在油箱里装有大量的变压器油，变压器油主要有两个作用：一是绝缘作用，变压器油的绝缘能力比空气强，绕组浸在油里可以加强绝缘，并且避免与空气接触，预防绕组受

潮；二是散热作用，变压器运行时，其内部各处温度是不一样的，利用热油上升和冷油下降的对流作用，把铁心和绕组产生的热量通过箱壳和散热管散发到外面去。

常用的变压器油有 10#、25#、45# 三种规格，其标号表示这种油开始凝固时的零下温度，例如 25# 表示这种油在 -25°C 时开始凝固，实际使用时应根据当地的气候条件选用。变压器新油为淡黄色，长期运行后呈现深黄色或浅红色。如图 5-10 所示是纯净的变压器油。



图 5-10 变压器油

7. 储油柜

储油柜（见图 5-11）是装在变压器顶盖上用钢板制成的圆筒，内充以适量的油，与油箱连通。它的作用是当变压器运行负载变化时或周围环境温度变化，变压器油随之热胀冷缩变化，变压器油的体积随油温升高而膨胀时，油箱里的油充入储油柜，而当油的体积因温度下降而收缩时，储油柜里的油又流入油箱，储油柜起着储油和补油的作用。还可减少变压器油与大气的接触面积，以防止变压器油的过快衰老和受潮，储油柜上部可以补油，在油箱的下部可以放出污秽油污。储油柜上部设有油位指示针，指出变压器空载下对应环境温度时变压器应有的油位，便于运行人员检查油位。

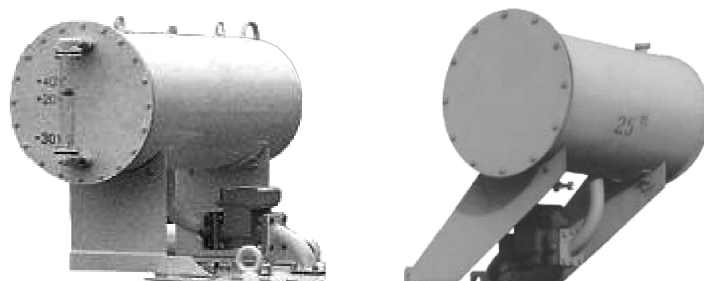


图 5-11 变压器的储油柜

8. 吸湿器

吸湿器的作用是使储油柜内的油通过它与大气相连通时，由它吸收空气中的潮气和杂质，以保持绝缘油的良好性能。吸湿器内部装有干燥剂硅胶（见图 5-12），干燥的硅胶呈蓝色，吸潮后变为粉红色，应于更换或经烘干后再次使用。



图 5-12 吸湿器

5.5 正确选择变压器的容量

5.5.1 变压器容量选择的基本要求

1) 所选择的变压器容量,既能满足用电需求,又能使容量得到合理的利用。也就是在高负载时不出现过载,又能使最小负载系数保持在 30% 以上。而且变压器的选择还应能满足当地 5 年内的发展规划。

2) 用户新装配电变压器,必须选用节能产品,如选用 S7 系列或 S9 系列低损耗变压器。旧的 SJ、SJ1、SJL1 老型号高、中损耗变压器国家已明令淘汰,对仍在运行的高耗变压器也应逐步进行更换改造。

3) 在选择变压器的容量和台数时,应本着“小容量、密布点、短半径”的原则,要尽量采用多台分布的小容量,避免单台大容量,不要宁大不小,以免引起供电范围过大、低压供电线路过长,增加线路建设投资,造成电压质量差、低压线损大。

4) 为减少损失,一些季节性较强的专用变压器不应接入其他负载,以便在不用时及时停运。若接入其他负载,则宜选用双台变压器或使用 STT 型低损耗调容量变压器,以便在非使用时间通过调容量分接开关将变压器容量调小。

5.5.2 变压器容量选择的方法

1. 供动力用变压器容量的选择

供动力用变压器容量的选择可按下式进行。

$$S = \frac{\sum P}{0.7 \sim 0.75}$$

式中 S ——变压器容量 ($\text{kV} \cdot \text{A}$);

$\sum P$ ——主要动力的容量 (kW)。

本公式主要用于以电动机为动力负载的场所。

2. 工厂企业配电变压器容量的选择

$$S = (1 \sim 1.4) \times P$$

式中 S ——变压器容量 ($\text{kV} \cdot \text{A}$);

P ——工厂企业的负载容量 (kW)。

在选择时,大型企业、厂矿及一班制生产单位取小值,小型厂矿及连续性三班制生产单位取大值。

3. 农村综合用配电变压器容量的选择

变压器容量 ($\text{kV} \cdot \text{A}$) = [生活用电总容量 (kW) $\times$ 同时率 + 动力负载总容量 (kW) $\times$ 同时率] $\times 1.3$ (电力负载发展系数)

公式中的同时率是指同一时间内用电的实际负荷容量之和占总装容量的比值,在实际选用中,为方便可按实际可能出现高峰负荷总千瓦数的 1.3 倍选用变压器的容量。

5.5.3 变压器安装位置的合理确定

变压器安装位置的确定原则是“靠近负荷、少占土地、协调发展、避免污染”，具体要求如下：

- 1) 变压器的安装位首先应靠近负荷中心；
- 2) 变电所的规模应尽量少占土地，最好是不占耕地最佳；
- 3) 与城乡或工厂发展规划相协调，便于架空线路和电缆线路的引入和引出；
- 4) 配合交通道路，做到方便运输；
- 5) 尽量避开污染源或选择在污染源的上风侧；
- 6) 应考虑变电所周围环境、临近设施的互相影响；
- 7) 尽量不设在低洼积水场所及其下方；
- 8) 应远离易燃易爆等危险场所。

5.6 正确选择变压器高、低压侧熔丝容量

科学合理的选择变压器高、低压侧熔丝可参见表 5-2 中的推荐值。

另外，在这里再介绍一种根据变压器的额定容量和额定电压选配高低压侧熔丝的方法。如果设变压器的额定容量为 S_N ($\text{kV} \cdot \text{A}$)；高压侧的额定电压和额定电流分别为 U_1 和 I_1 ，应配置的熔断器额定电流为 I_{1R} ，低压侧的额定电压和额定电流分别为 U_2 和 I_2 ，应配置的熔断器熔体的额定电流为 I_{2R} ，则计算公式为

$$I_{1R} = (1.5 \sim 2)I_1 = (1.5 \sim 2)S_N / \sqrt{3}U_1 = S_N / U_1$$

$$I_{2R} = (1.2 \sim 1.3)I_2 = (1.2 \sim 1.3)S_N / \sqrt{3}U_2 \approx 1.804S_N$$

上述公式的计算结果如果不是刚好等于熔断器熔体应有的电流规格，此时需要加一点或减一点靠到熔体能有的电流规格值上。

表 5-2 变压器高、低压侧熔体的合理选择

变压器额定容量/ $\text{kV} \cdot \text{A}$	高压侧(10kV)		低压侧(0.4kV)	
	变压器额定电流/A	配熔体额定电流/A	变压器额定电流/A	配熔体额定电流/A
10	0.58	3	14.4	15
20	1.15	3	28.8	30
30	1.73	5	43.3	50
50	2.89	7.5	72.1	80
63	3.64	10	90.9	100
80	4.62	10	115.5	120
100	5.77	15	144.3	150
125	7.22	15	180.4	200
160	9.24	20	230.9	250
200	11.54	20	288.7	300
315	18.19	30	454.7	475

5.7 变压器的户外安装

5.7.1 变压器安装前的检查

变压器在安装前一定要进行如下检查：

1) 首先应检查变压器的油箱及所有附件是否齐全完好，无锈烂及机械损伤，油箱密封良好无渗漏油现象，套管无裂纹及放电痕迹。油箱盖及顶盖封板连接的螺栓应齐全完好，储油柜油位正常油色清晰。铭牌数据清晰齐全，额定电压与线路相符，容量符合设计要求。

2) 测量变压器的绝缘电阻：高压侧用 2500V 绝缘电阻表摇测相与外壳的 20℃ 绝缘电阻应大于 $300\text{M}\Omega$ ；但是要注意，变压器的绝缘电阻是随温度的变化而变化的，其中 10℃ 时应大于 $450\text{M}\Omega$ ；20℃ 时应大于 $300\text{M}\Omega$ ；30℃ 时应大于 $200\text{M}\Omega$ ；40℃ 时应大于 $130\text{M}\Omega$ ；50℃ 时应大于 $90\text{M}\Omega$ 。

低压侧用 500V 绝缘电阻表摇测相与外壳、相与中性点 N 的绝缘电阻，应大于 $2\text{M}\Omega$ ；同时用 500V 绝缘电阻表测量高压绕组与低压绕组间绝缘电阻，应大于 $500\text{M}\Omega$ 。

3) 转动变压器的调压装置（包括分接开关），看动作是否灵活，接触点是否可靠，要求接触点之间的电阻不大于 $100\text{M}\Omega$ 。

4) 用万用表 $R \times 0.1\Omega$ 档测量高压侧相与相之间的直流电阻，其阻值应相等，测量时应在分接开关的三个档位上都进行。打开分接开关时应在无风干燥的条件下进行。

5) 检查滚轮距是否与基础铁轨轨距吻合。

5.7.2 杆架式变台的安装

杆架式变台是利用线路电杆组装成的变台。杆上变台具有占地少、安全、不易受外力破坏等优点，但用料较多，造价略高。变台一般设置在电杆的中部，分为单杆变台、双杆变台等。

1. 安装的一般要求

1) 为了便于变压器运行和检修，下列电杆不宜装设变台：转角电杆、分支电杆、装有线路开关的电杆、装有高压进线和高压电缆的电杆、交叉路口的电杆和低压进户线较多的电杆。

2) 柱上变压器应安装平稳、牢固，腰栏应采用直径不小于 4mm 的铁丝缠绕四圈以上。铁丝不应有接头，缠绕应紧固。腰栏距带电部分不应小于 0.2m。

3) 柱上变台离地面不应小于 2.5m，变台上所有裸露带电体离地面应在 3.5m 以上，在离地面 2.5~3.0m 的明显部位应悬挂“高压危险，禁止攀登”的警告牌，地面应装设围栏。

4) 变台应设总配电箱，配电箱底部距地面应不小于 1.4m。其引线应穿管敷设，并做防水弯头。配电箱应具有良好的防水性能，箱门必须加锁。

2. 单杆台架式的安装

单杆台架式的特点是将变压器、高压跌落式熔断器、高低压避雷器和低压熔断器等设备都安装在一根电杆上。这种变台结构简单、组装方便、节省材料，在城市街道两侧、深井泵房等多采用这种变台。

单杆变台常用于容量为 $10 \sim 30\text{kV} \cdot \text{A}$ 的变压器，单杆台架式施工时，变压器架梁对地面高度一般为 $2.5 \sim 3.0\text{m}$ ，在距架梁 $1.8 \sim 2.0\text{m}$ 处装设熔断器架梁（也称母线担），在母线担的一端装熔断器架梁，另一端装避雷器。为了安全，变压器的低压侧应朝向电杆，高压侧向外。单杆变台的组装如图 5-13 所示。

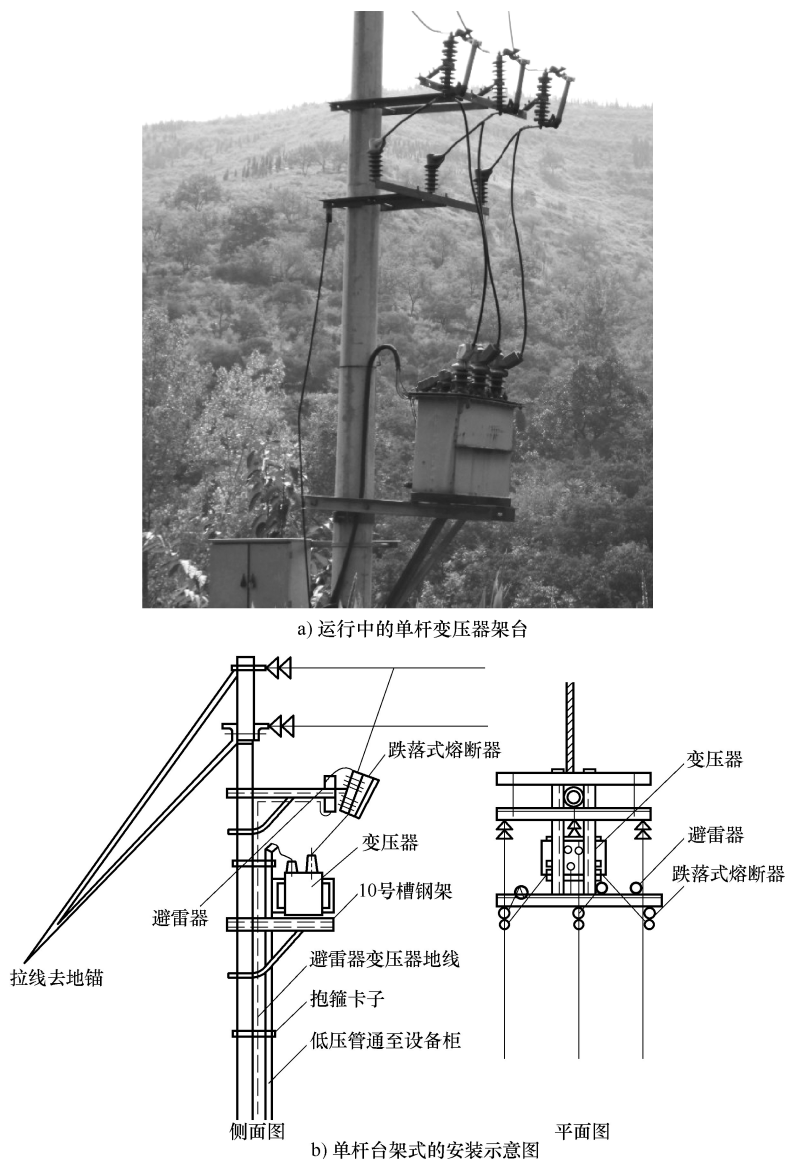


图 5-13 单杆变压器台

3. 双杆台架式的安装

图 5-14 所示是运行中的双杆变压器台，这种变台是在距离高压杆（主杆） $2 \sim 3\text{m}$ 远的

地方再立一根电杆（副杆），在离地面 2.5 ~ 3.0m 高处用两根槽钢搭成安放变压器的架子，组成“H”型变台。在距槽钢上部 1.8 ~ 2.0m 处装设母线横担，并拉上短母线。末端装高压避雷器。变压器高压引线均接在母线上。母线横担的另一端安装低压隔离闸刀。在主杆距地面 4.5 ~ 5.0m 处安装熔断器架梁和熔断器横担，高压引下线可以直接引下或通过顶担变换方向引下，经针式绝缘子接到跌落式熔断器的上接线柱上。这种变台适于安装 40 ~ 200kV · A 变压器。在多台单相变压器作三相运行，或多台变压器并联运行的场合非常适用。双杆变台比单杆变台牢固，只是用料较多，造价稍高，其组装示意图如图 5-15 所示。

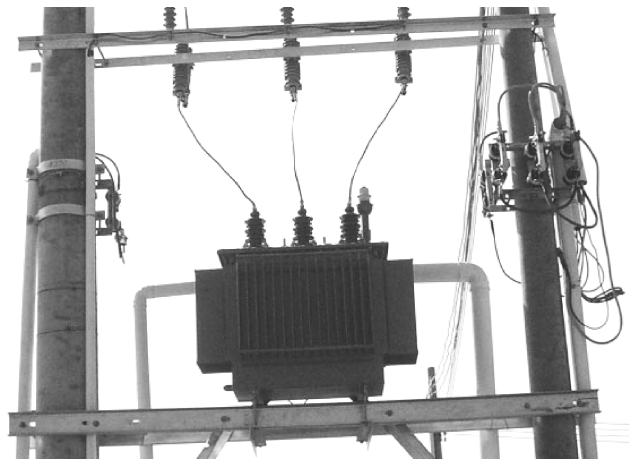


图 5-14 运行中的双杆变压器台

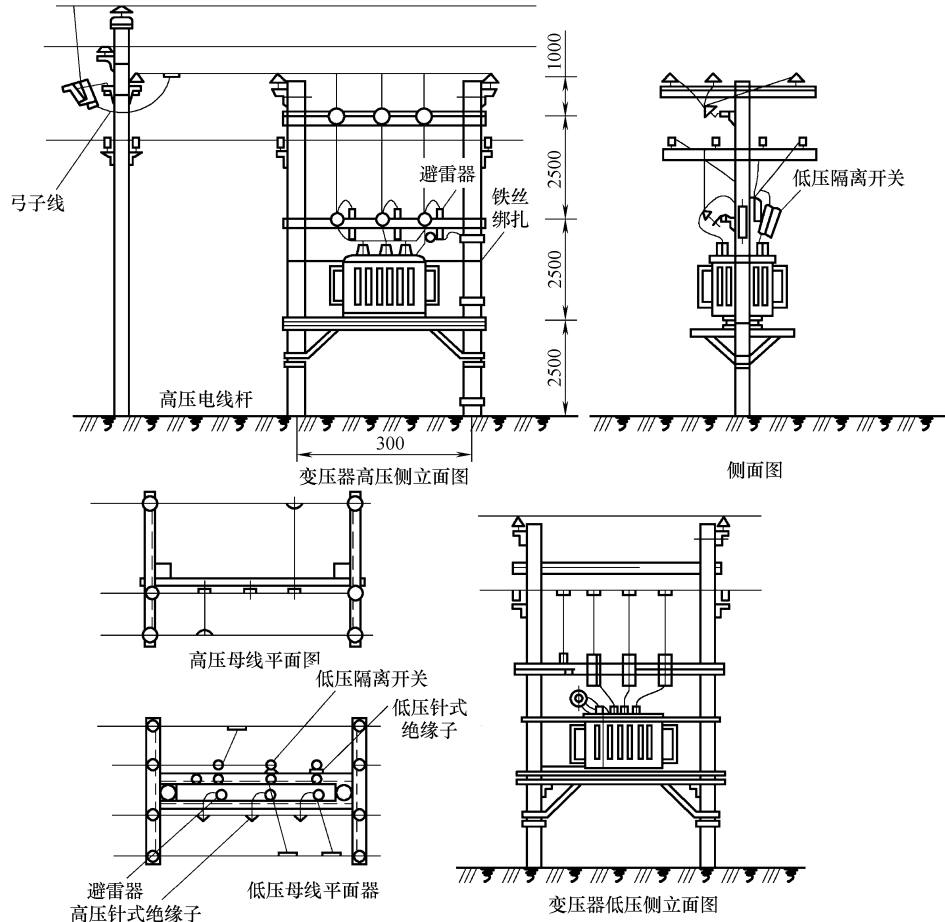


图 5-15 双杆台架式变台组装图

5.7.3 地台式变台的安装

地台式变台一般用砖或石块加混凝土在地面上砌成，如图 5-16 所示。地台的高度和顶部面积随变压器的大小而定。通常，地台高度以 1.5 ~ 2.0m 为宜。当高度小于 1.5m 时，应在其周围装设高度不小于 1.7m 的固定遮拦。遮拦与带电部分保持 1.5m 以上的距离。地台顶部每边比变压器外壳应超出 0.3m，一般取长度为 1.5 ~ 2.5m，宽度为 1.0 ~ 1.5m。

地台式变台的优点是基础牢固，节约材料，造价较低，维修方便。



图 5-16 地台式变台

5.7.4 落地式变台的安装

落地式变台是直接将变压器安装在用砖石砌成的平台上的安装方式，如图 5-17 所示。平台地基应有坚固的基础，一般是挖深 0.5m，夯实并填以碎石，台基高出地面 0.5m。变台四周设有围栏，围栏高度不低于 1.8m，栏条间的净距离不大于 0.1m，围栏距变压器的外廊净距不应小于 0.8m。运行中应挂牌加锁，只有切断电源后才能进入围栏。安装示意图如图 5-18 所示。



图 5-17 落地式变台

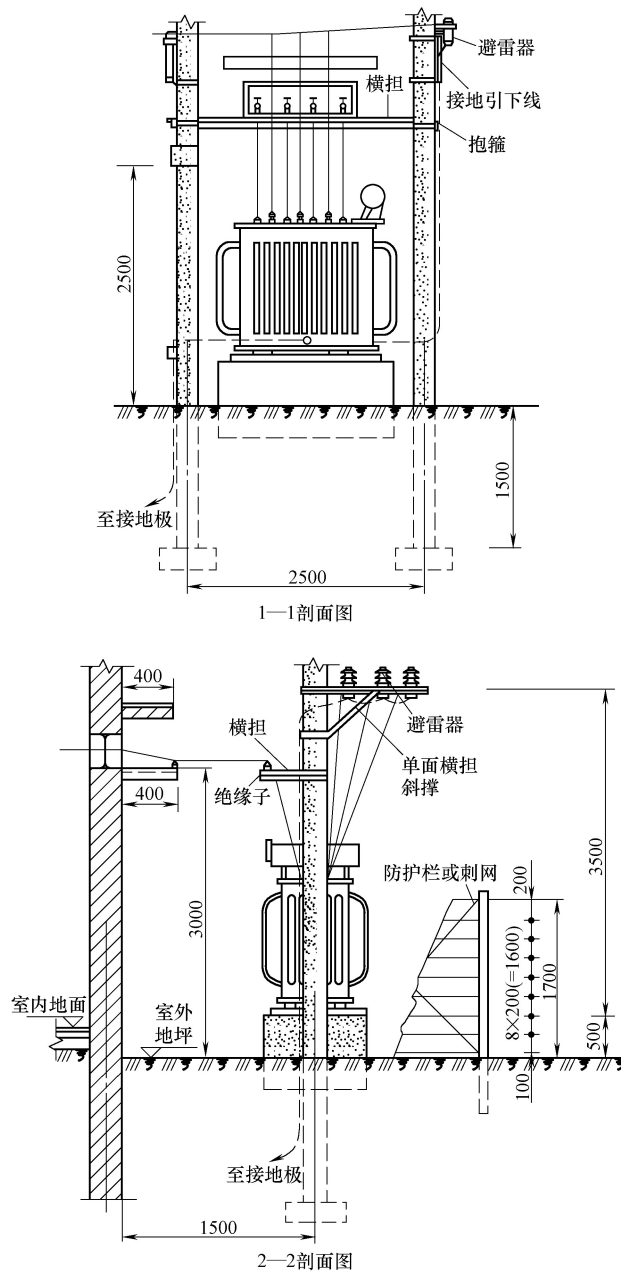


图 5-18 落地式变台安装示意图

5.8 变压器的户内安装

为了防止外界各种恶劣环境的侵害，避免变压器及其附件的丢失，防止从配电变压器连接端上窃电，现在逐步将配电变压器安装在室内。变压器室一般有两种形式：一种是配电变压器与低压配电装置安放在一间房内，中间用栅栏隔开（适用于 $50\text{kV} \cdot \text{A}$ 及以下的

变压器); 另一种是将变压器和低压配电装置分开, 分别建成变压器室和低压配电室, 这种配电室适用于容量在 $80\text{kV} \cdot \text{A}$ 级以上的变压器。不管采用哪种形式, 变压器室内都必须通风良好, 下设百叶窗, 上开出风口, 并采取防止小动物进入的措施。如图 5-19 所示是变压器的户内安装方式。在变压器室的门上或墙上应写明变压器名称、编号, 并应有警示标志。

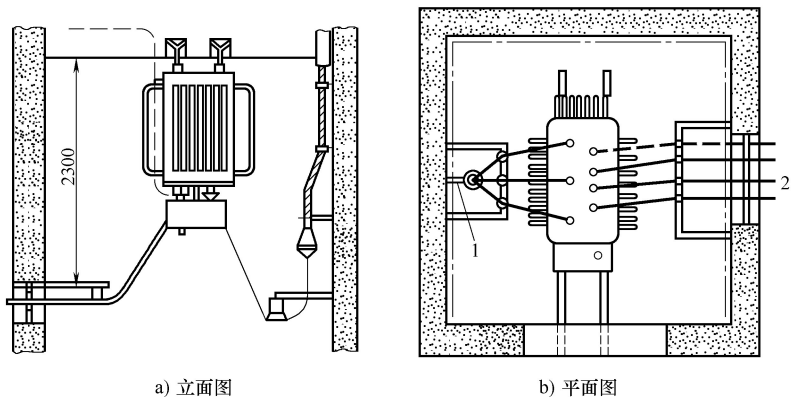


图 5-19 户内变压器安装方式
1—高压输入端 2—低压输出端

5.8.1 基础施工

1) 变压器与周围墙体的安全距离如图 5-20 所示。图中无括号的尺寸适用于容量小于 $320\text{kV} \cdot \text{A}$ 的变压器。右括号的尺寸适用于容量大于 $320\text{kV} \cdot \text{A}$ 的变压器。由图可见, 电压级别越高, 变压器的安全距离越大。

2) 变压器室属于一、二级耐火等级的建筑, 其大门、进风窗、出风窗的材料应满足防火要求。

3) 变压器室的高度一般为 $3.5 \sim 4.5\text{m}$, 高度大小可视具体情况而定。

4) 当自然通风的进风温度为 30°C 时, 变压器户内地坪应比户外地坪高 0.8m ; 当自然通风的进风温度为 35°C 时, 变压器地坪比室外地坪应高 1.0m 。地坪抬高后, 变压器室的高度也要相应增大。

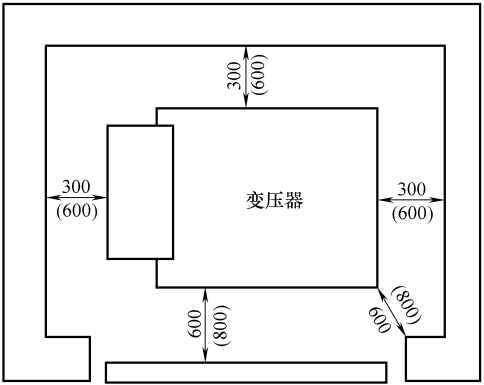


图 5-20 变压器与墙体的安全距离

5) 出风窗顶部应靠近屋梁。自然通风, 排风温度不应高于 45°C 。出风口的有效面积比进风口的有效面积应大 $1.1 \sim 1.2$ 倍。

6) 变压器室的门除有特殊要求外, 一般可采用铁门。如果采用木制门, 应在门的变压器室一面包铁皮。门的宽度和高度根据设备的情况而定, 一般宽为 1.5m , 高为 $2.5 \sim 2.8\text{m}$ 。门应向外开启并能够上锁。宽度不大于 7m 的配电室, 允许只有一个出口, 超过

7m 时则至少应有两个出口。

变压器安装就位，有宽面推进和窄面推进两种（见图 5-21）。另外变压器室设备构件的安装应与土建施工密切配合，尽量避免临时凿墙。

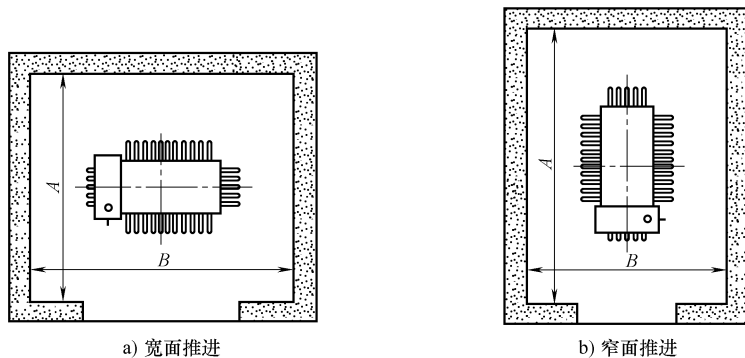


图 5-21 变压器推进示意图

7) 混凝土地面不应起沙，墙壁应抹灰刷白。

8) 进、出风口百叶窗的内侧应装有网孔不大于 $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ 的防动物网。基础下面的进风孔可不安装百叶窗，但网孔外面要安装直铁条，以防止网格外的机械损伤。直铁条可采用直径为 10mm 的圆钢，间距为 100mm 。

9) 室内不应有与设备无关的管道通过，电缆孔内要采取防止小动物进入的措施。

10) 基础柜梁与变压器轨轮应相吻合，各金属部件应涂防锈漆。

5.8.2 安装

变压器室的构筑和变压器的基础施工完成后，经验收合格，即可将变压器安装就位。如果变压器有支座，则可连同支座一起就位于基础的轨道上。此时应注意，变压器运行时其内部产生的气体应全部流向气体继电器，箱盖和气体继电器的联通管应有 $2\% \sim 4\%$ 的坡度。安装时，可用千斤顶将变压器储油柜一端顶起，用垫铁垫在储油柜一端的轨轮。垫铁厚度可由变压器两轮中心距乘以 $1.0\% \sim 1.5\%$ 求得。若轨轮中心距为 1.0m ，则垫铁厚度为 $10 \sim 15\text{mm}$ 。

变压器就位后，其滚轮应使用可拆卸的制动装置予以固定，并在滚轮上涂上防锈漆。

5.8.3 接线

变压器的接线主要有引入电源线与高压侧的连接、低压侧与低压引出线的连接和接地线的连接。

变压器电源引入线有高压架空线引入（见图 5-22）和高压电缆引入（见图 5-23）两种。下面介绍高压电缆引入线的接线施工工艺。

1. 高压电缆与高压端子的连接

1) 高压电缆一般是沿墙垂直敷设的，支撑电缆的卡子如图 5-24 所示。装设时，各卡子之间的距离一般为 1.5m 。卡子的底座应固定可靠，各紧固金属部件都要作防锈处理。目前电缆敷设的固定方法有 U 形固定法和 T 形固定法。

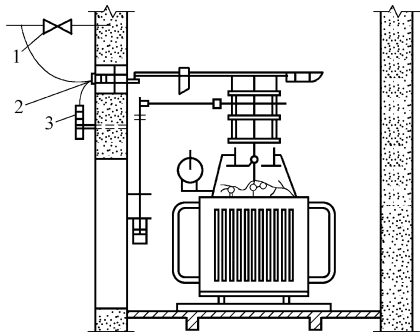


图 5-22 高压架空线引入接线示意图
1—架空线终端绝缘子 2—高压穿墙绝缘子
3—避雷器

2) 电缆头引线与接线端子连接的做法和工艺要求如图 5-25 所示。

3) 绝缘子支架如图 5-26 所示。角钢要埋设牢固, 10kV 以下电缆角钢支架的加工尺寸如图所列。绝缘子可根据设计要求选择。

4) 按照工艺制作电缆终端头。

5) 高压母线要按相序排列要求涂漆, 在距绝缘子 80mm 处不要涂漆, 以备接线用。

6) 高压母线与变压器高压绝缘端子(套管)的连接如图 5-27 所示。母线与套管连接时, 应使用两把扳手, 一把扳手固定套管压紧螺母, 另一把扳手旋转压紧母线的螺母, 以防止套管中连接螺栓跟着转动。

2. 低压母线与变压器低压端子的连接

低压母线与变压器低压端子连接有竖连和横连两种, 如图 5-28 所示。由于低压引出母线的电流大, 所以

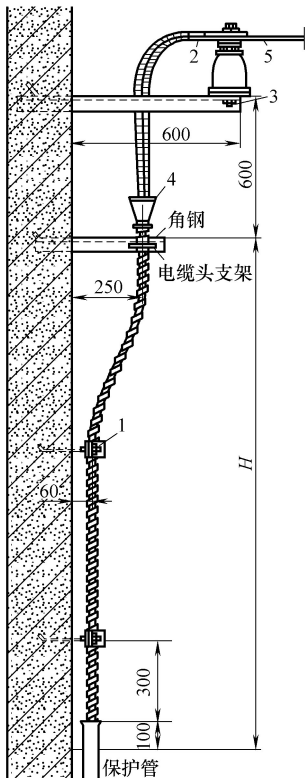


图 5-23 高压电缆引入接线
1—卡子 2—电缆头引入接线端子
3—绝缘子支架 4—电缆头终端盒
5—高压母线

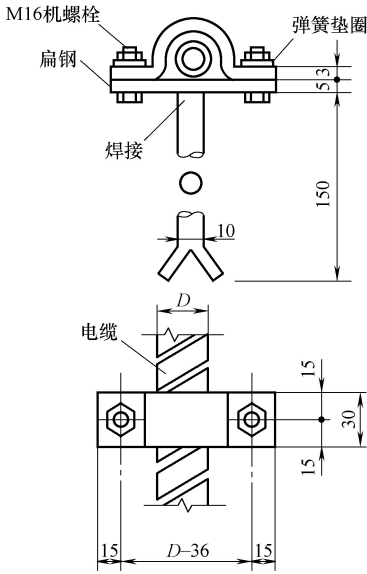


图 5-24 电缆卡子

采用横连较少。无论采用哪种连接方法，连接前都应对母线的接触面进行处理。通常，铜母线钻孔后要搪锡，铝母线钻孔后要处理好铜、铝过渡接触面的处理，以使接触面接触良好。

室内变压器低压母线多数是经低压绝缘子支架穿墙引出的，如图 5-29 所示。如果母线截面积大于 1000mm^2 ，支架下面要加支撑。

低压母线穿墙孔施工要求和穿墙板（夹板）加工工艺要求如图 5-30 所示。低压母线穿墙夹板配件见表 5-3。

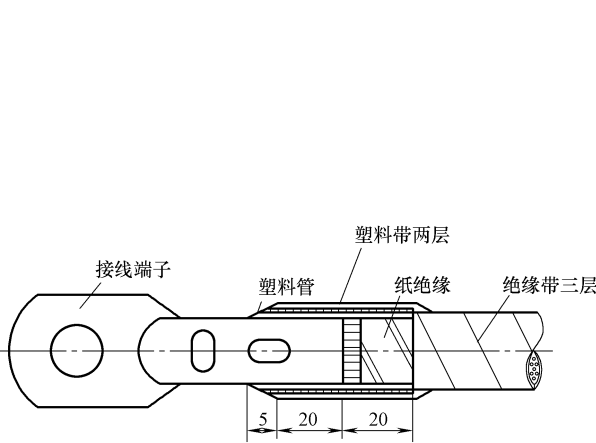


图 5-25 电缆头引线与接线端子连接的做法

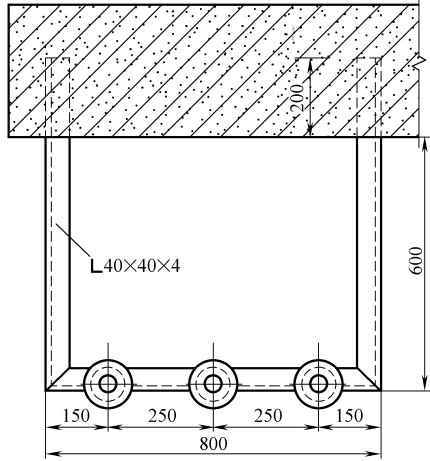


图 5-26 绝缘子支架平面

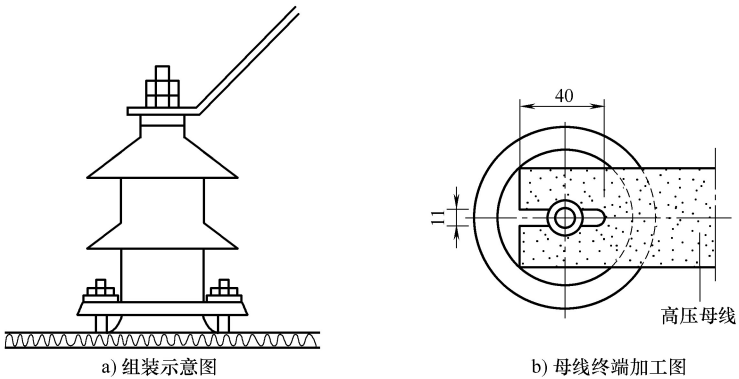


图 5-27 高压母线与变压器高压端子的连接

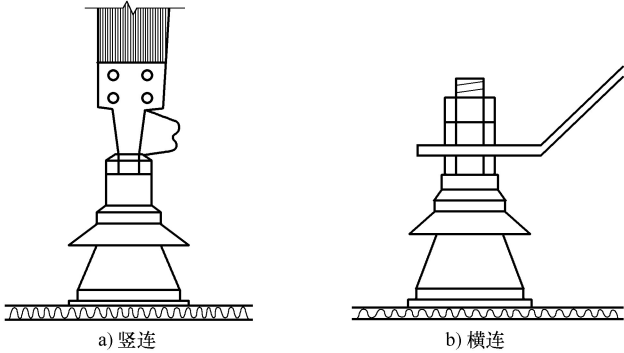


图 5-28 低压母线与变压器低压端子的连接

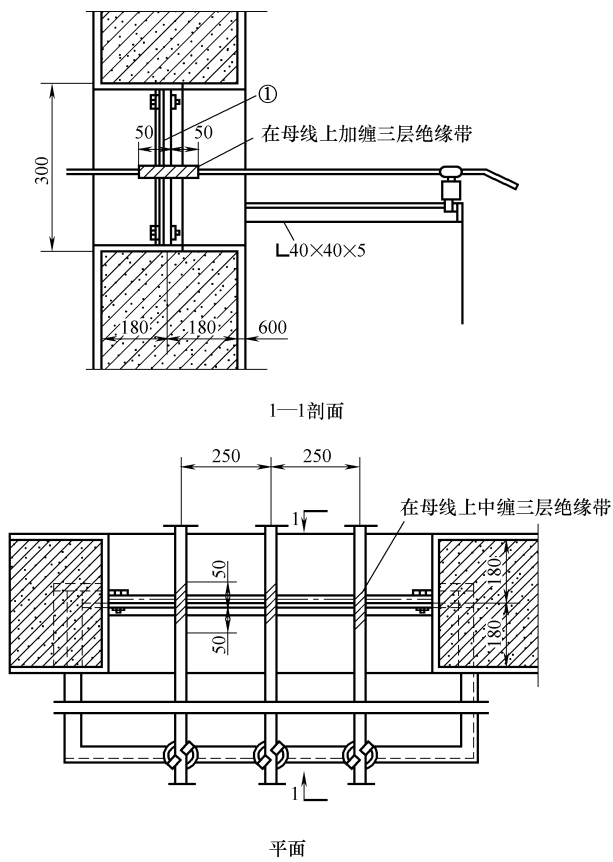


图 5-29 低压母线支架

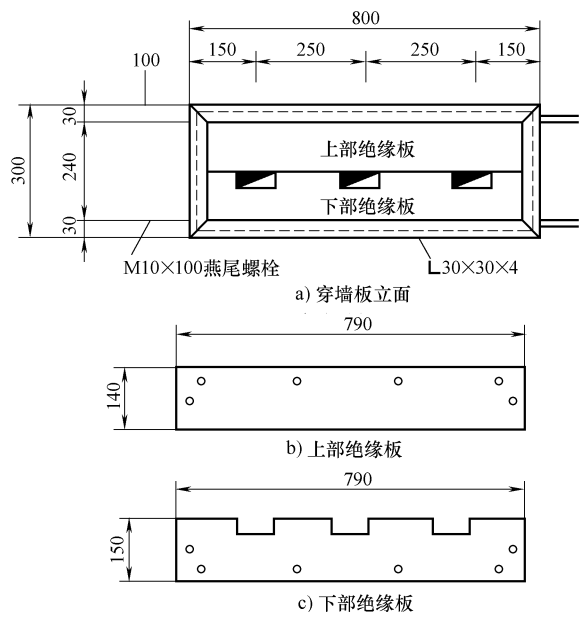


图 5-30 低压母线穿墙板

表 5-3 低压母线穿墙夹板配件

1	母线夹板	硬木浸渍绝缘油
2	螺栓	M6 × 60 加垫圈
3	母线	由设计规定
4	绝缘带	黄蜡布

3. 变压器的接地

在三相四线制低压供电线路中，变压器低压侧有一根中性母线（也称变压器的零母线）。其作用是供电系统中的中性线（零线）连成工作零母线，同时与本变电所的接地线（接地极）连接起来，使变压器的接地极构成一个整体（见图 5-18 至接地极的连接）。零母线截面的选择，一般按变压器额定电流的 25% 考虑。为了测试方便，在变压器中性点的接地回路中，靠近变压器处一般做一个可拆卸的连接点。连接点的连接方式如图 5-31 中①、②、③所示。

在变压器上部接线时，如果变压器顶盖有开孔，则登上变压器顶盖以前，必须将衣服口袋内的东西全部取出（手表也不许戴），使用的器具最好用绳子系牢。安装用的螺栓、螺母要用盒子盛好或由下面的工作人员传给，严防杂物落入变压器箱体内。

5.9 变压器的投运及停运操作程序

1. 投运前的检查

值班人员应仔细检查以下各项：

- 1) 确认变压器及其保护装置在良好状态，具备带电运行条件；
- 2) 变压器本体无缺陷，无渗漏油等问题；
- 3) 临时接地线已拆除，外壳有良好的接地；
- 4) 分接开关位置正确；
- 5) 各阀门齐全，关闭正确；
- 6) 高、低压套管完整、无缺陷；
- 7) 变压器出厂合格证、出厂试验单以及有关文件齐全；
- 8) 变压器底座基础稳定、牢固，走轮有可靠的止动装置；
- 9) 变压器如在低温投运时，应防止呼吸器因结冰被堵塞。

2. 变压器投运前的冲击合闸试验

1) 新装的变压器在投运前应进行 5 次冲击试验，对大修过的变压器要进行 3 次冲击试验。

2) 做空载冲击试验的目的：①在断开空载变压器时，空载电流急剧下降，绕组中因磁场突变而产生很高的电压，从而会击穿薄弱处绝缘；②在带电投入空载变压器时，会产生励磁涌流，其值可达额定电流的 6 ~ 8 倍，会使线圈承受很大的电磁力，导致线圈变形或绝缘损伤。

据上述原因，对变压器进行空载冲击合闸试验是十分必要的。

3. 变压器投运和停运的安全操作程序

1) 新装、大修、事故检修或换油后的变压器，在施加电压前静止时间不应少于下面规定：

110kV 以下 24h；

220kV 及以下 48h；

500kV 及以下 72h。

2) 装有储油柜的变压器，带电前应排尽套管升高座、散热器及净油器等上部的残留空气。对强油循环变压器，应起动油泵，使油循环一定时间后将气排尽。开泵时变压器各侧绕组均应接地，防止油流静电危及操作人员的安全。

3) 强油循环变压器投运时，应逐台投入冷却器，并按负载情况控制投入的台数。水冷却器应先起动油泵，再开启水系统；停电操作是先停水，后停油泵；冬季停运时，应将冷却器中的水放净。

4) 变压器的充电，应在有保护装置的电源侧用断路器操作。停运时，先停负载侧，后停电源侧。

5) 在无断路器时，可用隔离开关投切 110kV 及以下，且电流小于 2A 的空载变压器。

6) 用于切断 20kV 及以上变压器的隔离开关，必须三相联动，且装有消弧器。

7) 装在室内的隔离开关必须在各相之间，安装耐弧的绝缘隔板。

8) 允许用熔断器投切空载配电变压器和 66kV 及以下的站用变压器。

9) 在 110kV 及以上中性点有效接地系统中，投运或停运变压器的操作，中性点必须先接地，投入后可按系统需要决定中性点是否断开。

5.10 变压器的运行维护

变压器投运前的检查：

新装或检修后的变压器，投入运行前应进行全面的检查，确认其符合运行条件时，方可投入试运行。

(1) 外观检查

1) 检查变压器的铭牌与所要求的变压器是否相符。例如各侧电压等级、联结组标号、容量、运行方式和冷却条件等是否与实际要求相符合。

2) 检查试验合格证。如试验合格证签发日期超过三个月，应重新测试绝缘电阻。其阻值应大于规定值，不小于原试验值的 70%

3) 检查储油柜上的油位计是否完好，油位是否在与当时环境温度相符的油位线上。油色应正常。

4) 检查变压器本体、冷却装置和所有附件及油箱各部分有无缺陷，有无渗油、漏油情况。

5) 检查瓷套管是否清洁、完整，有无破裂、裂纹及放电痕迹，导电杆有无松动、渗

漏现象，螺纹有无损坏。发现问题应及时调换。

6) 检查变压器顶上有无遗留杂物。

7) 检查防爆管的防爆膜是否完好。吸湿器的吸湿剂不应失效。对于小型变压器应检查添油孔的螺盖是否完好，通气孔应畅通。

8) 检查变压器高低压两侧出线套管以及引线、母线的连接是否良好，三相的颜色标记是否正确无误，引线与外壳及电杆之间的距离是否符合要求。

9) 检查变压器外壳接地线是否牢固可靠，接地电阻是否符合要求。

10) 检查变压器轮子的制动装置是否牢固。

11) 检查分接开关位置是否正确；有载调压分接开关的遥控操作机构动作是否可靠。

12) 对大中型变压器要检查有无消防设施，如 1211 灭火器、黄砂箱等。

(2) 保护系统的检查

1) 对采用跌落式熔断器保护的，应检查熔丝是否合适，有无接触不良现象。

2) 对采用断路器和继电器保护的，要对继电保护装置进行检查和核实，保护装置运作整定值要符合规定，操作和联动机构动作要灵活、正确。

3) 具有瓦斯保护的变压器，应检查气体继电器内部有无气体存在。若有气体应放尽，并试验上接点是否能准确动作，检查下接点的压板是否放好，连接阀门应打开。

4) 检查避雷器是否良好，接地线和接地电阻值是否符合规定（ $100\text{kV} \cdot \text{A}$ 以上的变压器不大于 4Ω ， $1000\text{kV} \cdot \text{A}$ 及以下的₁不大于 10Ω ）。

(3) 监视装置的检查

1) 检查测量仪表（如电压表、电流表、频率表、功率因数表等）是否齐全，仪表的测量范围是否适当，接线是否正确。

2) 检查小型变压器箱盖上的玻璃温度计是否装好，是否便于观察读数；信号温度计（电接点压力式温度计）软管有无压扁或折断现象，指示是否正确，整定值是否符合要求。

(4) **冷却系统的检查** 对油浸自冷式变压器，应检查散热管是否清洁，有无杂物；对于油浸风冷式变压器，应检查风扇电动机转向是否正确，运转是否正常，有无过热现象；对于强迫油循环水冷式变压器，检查其油泵工作是否正常，其冷却系统的油压力应大于水压力。只有油泵正常工作，才可起动冷却水系统。

5.11 变压器的日常维护

1) **外壳补漆**：一般情况下，变压器每运行 2~3 年就要补刷一次防锈漆。涂刷防锈漆前，应先将变压器器身擦拭干净。涂漆时，要先涂一层约 0.05mm 厚的底漆，待漆干透后，再涂刷约 0.05mm 厚的灰色醇酸漆膜，待漆膜干透后，再加涂一层中灰色醇酸漆，漆厚一般为 $0.01 \sim 0.02\text{mm}$ 。变压器油箱、散热管及其附件的外表最好涂成浅色。

2) 变压器油少时，要及时补油。

3) 变压器油长期运行或潮气侵入后会变质变坏，导致绝缘性能会下降，同时油色变黑，这时应将油过滤或再生后使用。变压器油每年应取油样进行一次耐压试验。

- 4) 当发现变压器出现渗油、漏油现象时,要及时采取方法处理。
- 5) 当变压器套管积尘严重污脏后,要及时清除。可用酒精清洗或用抹布沾少量汽油擦拭。清扫使用的抹布,绝对不能粘有金属屑和导电物质。
- 6) 已经损坏的玻璃管油位计要及时更换。更换玻璃管时两端必须磨光,将活塞螺钉旋出约 20mm 以堵塞油路,然后更换玻璃管。不能把玻璃管与金属直接接触。
- 7) 变压器绝缘电阻的测定。测量变压器的绝缘电阻时,不但要测量一次、二次绕组对地绝缘电阻,还要测量一次与二次绕组之间的绝缘电阻。测试方法如下:
- ① 测量额定电压为 1kV 以上的绕组用 2500V 绝缘电阻表;1kV 以下者要用 1000V 或 2500V 绝缘电阻表。
- ② 测量前,先将变压器套管清洁干净,以免引起泄漏电流,影响测量结果的准确性。
- ③ 测量时非被测绕组应接地。先将变压器的外壳和高压绕组接地,测量低压绕组;再将变压器的外壳和低压绕组接地,测量高压绕组。
- ④ 测量时如用手摇式绝缘电阻表,应以 120r/min 速度转动手柄,使指针逐渐上升,直至指针指示稳定后再记录读数。
- ⑤ 绝缘电阻应以变压器绕组浸于油中时所得的数值为准,变压器注油后应静放 5 ~ 6h 再进行测量。
- 把测量结果与投入运行前的数值作比较,如果下降显著 (低于 70%),则应进行试验,做出全面分析。
- 为了比较,需要把测量的绝缘电阻值换算到同一温度下,表 5-4 是不同温度差绝缘电阻的换算系数。

表 5-4 不同温度差绝缘电阻的换算系数

温度差/℃	5	10	15	20	25	30	35
绝缘电阻换算系数	1.2	1.5	1.8	2.3	2.8	3.4	4.1

电动机安装、使用与维护技术

6.1 电动机的基本结构

电动机的基本结构如图 6-1 所示，主要由定子和转子两大部分组成。

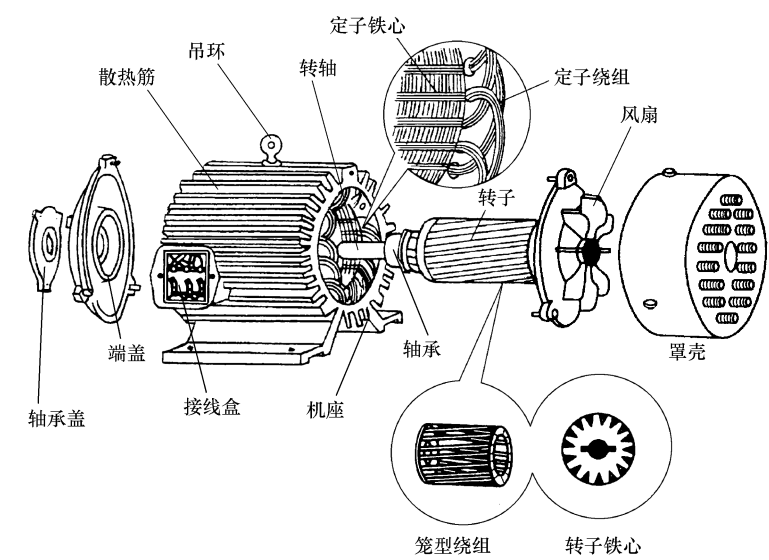


图 6-1 电动机的基本结构

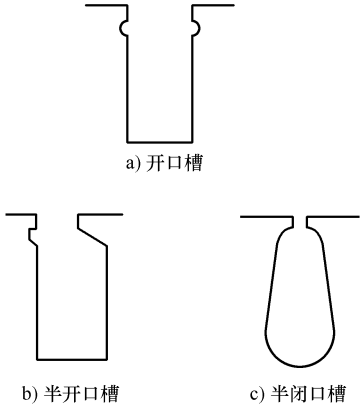
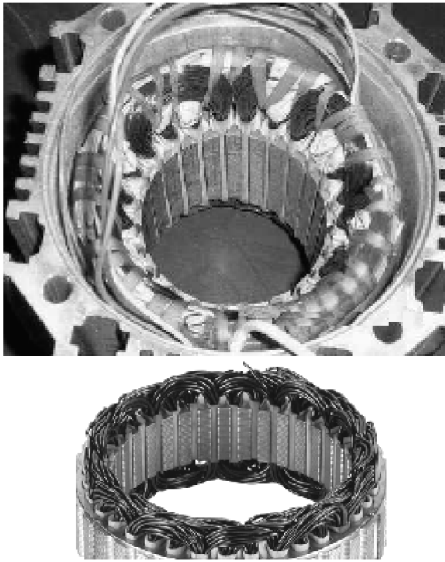
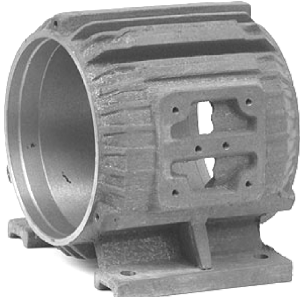
1. 定子

定子是异步电动机的静止部分，它主要由定子铁心、定子绕组和机座等部件组成，见表 6-1。

表 6-1 电动机定子部分的结构

名称	图 示	说 明
定子铁心	实物图	定子铁心是异步电动机主磁通磁路的一部分。为了减少旋转磁场在铁心中引起的涡流损耗和磁滞损耗，定子铁心由导磁性能较好、厚度为 0.5mm 且冲有一定槽形的硅钢片叠压而成。对于容量较大(10kW 以上)的电动机,在硅钢片两面涂上绝缘漆,作为片间绝缘

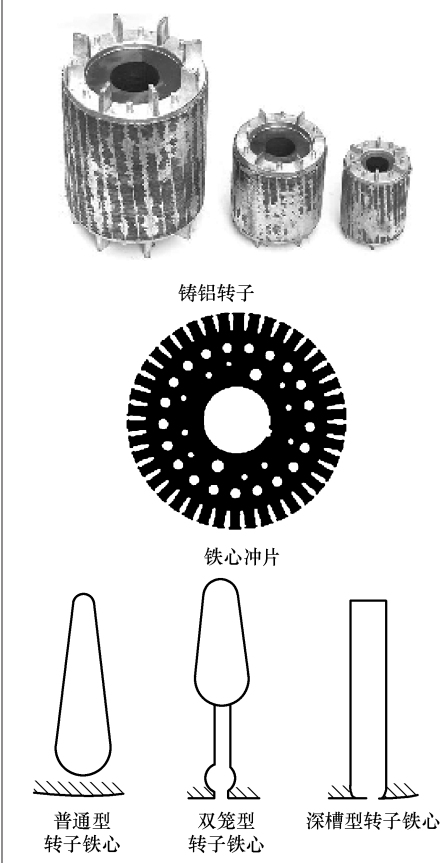
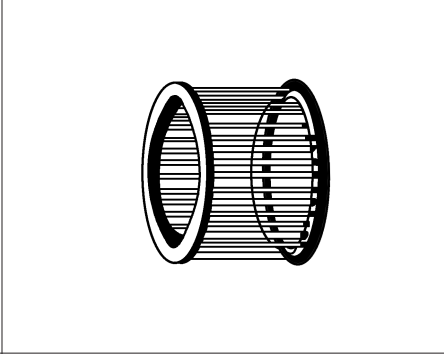
(续)

名称	图 示	说 明
定子铁心	 a) 开口槽 b) 半开口槽 c) 半闭口槽	在定子铁心内开有均匀分布的槽,槽内放置定子绕组。图中所示的定子槽,其中 a) 是开口槽;b) 是半开口槽,用于中型 500V 以下的异步电动机;c) 是半闭口槽,用于低压小型的电动机中
定子绕组	 实物图	定子绕组是电动机的电路部分,如图所示。三相异步电动机的定子绕组有三个,每个绕组有若干个线圈。中、小型电机线圈的导线,一般采用高强度聚酯漆圆铜线。在线圈和铁心之间,垫有青壳纸和聚酯薄膜、黄蜡绸等,作为槽间绝缘。在铁心槽口上装有槽楔,槽楔用竹子或胶木板制成。三相绕组的 6 根引线连接到机座外壳上的接线盒中,按国家标准规定,新生产的电动机,接线柱标有 U₁、V₁、W₁、V₂、U₂、W₂ 的标志,三相绕组可根据要求接成星形或三角形,绕组的布置可分为单层或双层
机座	 实物图	机座是用来固定、支撑定子铁心、定子绕组、端盖和转子的,同时它还起着保护电动机整体和发散电动机运行中所产生热量的作用。机座一般是用铸铁或铝铸成,如图所示

2. 转子

转子是电动机转动部分的总称,它是由转子铁心、转子绕组、转轴及风扇等组成,见表 6-2。它的作用是输出机械转矩。

表 6-2 电动机转子部分的结构

名称	图 示	说 明
转子铁心	 铸铝转子 铁心冲片 普通型转子铁心 双笼型转子铁心 深槽型转子铁心	转子铁心的作用与定子铁心相同,一方面作为电动机磁路的一部分,另一方面用来安放转子绕组。它是用厚 0.5mm 且冲有转子槽形的硅钢片叠压而成,中小型电动机的转子铁心一般都直接固定在转轴上,而大型异步电动机的转子则套在转子支架上,然后让支架固定在转轴上
转子绕组		转子绕组是产生感应电流的转子回路。按转子结构的不同,可分为笼型(原称鼠笼型)转子绕组和绕线型转子绕组两大类型。 笼型转子绕组的结构与定子绕组完全不同,每个转子槽内只嵌放一根铜条或铝条,在铁心两端槽口处,铜条或铝条连接起来,构成一个短接的导电回路。如果去掉转子铁心,留下来的短接导体回路结构很像一个鼠笼,鼠笼式异步电动机的名称即因此而来。目前国产中、小型功率的笼型异步电动机,大都是在转子铁心槽中,将熔化的铝液一次性浇铸成笼型转子。有的还在端环上同时铸出许多叶片,作为冷却用的风扇
转轴		转轴是用来传递功率的,由中碳钢制成,两端的轴颈与轴承相配合,一般支撑在端盖上,轴的伸出端铣有键槽,用来固定带轮或联轴器并与被拖动的机械相连

3. 其他部分及气隙

1) 轴承: 被用来连接异步电动机的转动和静止这两部分,在中、小型异步电动机中均采用滚动轴承,以减小运转中的摩擦,如图 6-2 所示。

2) 轴承盖：一般是铸铁件，用来保护和固定轴承，并防止润滑油外流及灰尘进入，如图 6-3 所示。

3) 端盖：由两侧盖与轴承组成，端盖一般由铸铁制成，用螺钉固定在机座两端，其作用是安装固定轴承、支撑转子和遮盖电动机。

4) 外风叶与外风罩：如图 6-4 和图 6-5 所示封闭式三相异步电动机为加大其散热能力，在电动机后侧端盖外面的转轴上还装置有一个外风叶，用以将机座散热片传导出来的电机内部热量排放冷却。外风罩则用来保证外风叶安全顺利地运行。



图 6-2 电动机轴承



图 6-3 电动机的轴承盖

5) 异步电动机的定子与转子之间的气隙：一般为 $0.2 \sim 2\text{mm}$ 。气隙的大小，对电动机的运行性能影响很大。气隙越大，由电网供给的励磁电流也越大，则功率因数越低，要提高功率因数，气隙应尽可能地减小。但由于装配上的要求及其他原因，气隙又不能过小。在表 6-3 中列出了部分机座号的最小气隙。



图 6-4 电动机外风罩



图 6-5 电动机外风叶

表 6-3 部分机座号的最小气隙

极数	机座号						
	3	4	5	6	7	8	9
	气隙值/mm						
2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.8	1.1	1.6
4	0.28	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	1.9
6		0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.65
8		0.3	0.4	0.45	0.5	0.6	0.65

6.2 正确选择电动机

6.2.1 电动机选用的基本要求

- 1) 选择节能高效型新品种、新型号。在选择电动机时，要了解和掌握电动机发展动态，选择新型电动机和国家有关部门推荐使用的产品。Y 系列电动机应为首选产品，而 J、JO、JO2 等系列都是必须淘汰的电动机。
- 2) 根据机械负载的需要、当地的电网要求、工作制及工况条件，合理地选择电动机。
- 3) 根据使用环境温度、工作场所，合理选择电动机的防护等级和结构形式。
- 4) 根据经济费用合理选择电动机。必须合理计算电动机的采购费用、安装费用、使用费用和报废费用。在市场经济条件下，必须综合考虑投资费用。

6.2.2 电动机类型的选择

电动机类型的选择应根据使用场所的不同合理选择。首先应根据配套机械的负载特性和使用环境，选择不同类型的电动机。如用于起动静止负载或惯性负载较大的机械（压缩机、粉碎机等），可以选用高起动转矩电动机；当需要机械有 2~4 种转速时，可以选用多速电动机；当需要机械有较高的起动转矩时，可以选用绕线转子电动机。又如当配套机械用于灰尘较多、水土飞溅场所时（球磨机、磨粉机、碾米机），可选用封闭式电动机；当机械在腐蚀性环境中运行时，可选用化工防腐式电动机；当设备在矿井等有爆炸危险的环境中使用时，可选用防爆电动机。

6.2.3 电动机转速的合理选择

各种生产机械都有一定的额定转速。通常，应根据所拖动机械的转速要求，合理选用转速相对应的电动机。选择电动机转速的原则是，生产机械配用电动机后，电动机和生产机械必须都在各自的额定转速下运行。也就是当电动机直接带动生产机械时，电动机的额定转速应等于生产机械所要求的转速。

但是在实际生产中，电动机的转速是有限和有一定规律的，不可能与各种生产机械的转速都相同。比如说，三相异步电动机的极数一般有 2、4、6、8、10 极等几种，它们对应的同步转速为 3000r/min、1500r/min、1000r/min、750r/min、600r/min。由于转子速度

比同步转速约低 2% ~ 5%，因此上述各种极数的电动机的转速约为 2900r/min、1450r/min、960r/min、740r/min、580r/min。如果生产机械的转速与电动机的转速不同，而且相差很多，则可选择转速稍高于生产机械转速的电动机，然后通过带轮或齿轮等变速装置等减速，使两者在各自的额定转速下运行。

6.2.4 电动机功率的合理选择

电动机功率的选择，应根据生产机械所需要的功率来确定，尽量使电动机在额定负载下运行。电动机的容量选得过小，就会造成电动机长期过载运行，使其绝缘因发热而损坏，甚至电动机被烧毁。如果电动机的容量选择过大，就会使其输出功率不能得到充分利用，功率因数和效率都不高，造成电能的浪费。

下面我们根据不同的机械工作方式讨论合理选择电动机功率的方法。

1. 恒定负载连续工作方式的电动机

如果已经知道负载的功率（即生产机械轴上的功率） P_1 （kW），则可按下式计算所需电动机的功率 P （kW）：

$$P = \frac{P_1}{\eta_1 \eta_2}$$

式中 η_1 ——生产机械的效率；

η_2 ——电动机的效率，也就是传动效率。

由于电动机都是系列化、标准化产品，按上式求出的功率，不一定能与国家的系列化产品功率相同。因此，所选电动机的额定功率应等于或稍大于计算所得功率。比如计算所得功率为 7.1kW，但是电动机没有 7.1kW 这个规格，可选用 7.5kW 的电动机。

2. 短时工作方式的电动机

短时工作方式，是指电动机运行时间较短而停止工作的时间较长，且在停歇时间内，电动机能冷却到周围环境温度。电动机短时运行时，允许过载，工作时间越短，允许过载越大，但过载量必须小于电动机最大转矩。短时工作方式的电动机，其功率的选择公式是

$$\text{电动机容量} \geq \frac{\text{生产机械所需功率}}{\lambda}$$

式中 λ ——电动机过载系数， $\lambda = \text{电动机最大转矩} / \text{电动机额定转矩}$ 。

3. 重复短时工作方式的电动机

重复短时工作方式（即断续周期工作方式），是指电动机运行时间 t_g 和停止时间 t_0 周期地交替，工作时电动机的温升没有达到稳定值，停歇时电动机的温度又未降到周围环境的温度。专供重复短时运行的交流异步电动机有 JZ 和 JZR 系列电动机，可以根据所需的负载持续率 ε 来选择。 ε 的数学表达式为

$$\varepsilon = \frac{t_g}{t_g + t_0} \times 100\%$$

重复短时工作方式的电动机，其负载持续率 ε 分为 15%、25%、40% 和 60% 四种，额定工作周期是 10min。

如果生产机械的铭牌上或产品说明书中标有所要求的电动机的容量,则按要求的容量选配电动机即可。如果生产机械的铭牌上或产品说明书中没有明确规定使用多大容量的电动机,或者生产机械是自行制造的,可采用类比法来选择电动机的容量。也就是根据周围类似生产机械使用的电动机的容量,然后选用相近容量的电动机带动生产机械运行,同时用钳形电流表测量电动机的工作电流。将测得的工作电流与该电动机铭牌上标出的额定电流进行对比。如果电动机的实际工作电流与铭牌上标出的额定电流相差不大,则表明所选电动机的容量合适。如果电动机的实际工作电流比铭牌上标出的额定电流低 70% 左右,则表明电动机的容量选得过大,应调换容量较小的电动机。如果测得的电动机工作电流比铭牌上标出的额定电流大 40% 以上,则表明电动机的容量选得过小,应调换容量较大的电动机。

6.2.5 传动装置的合理选择

1. 传动装置的分类和选择

将电动机的转矩传递到生产机械上的器件,称为电动机的传动装置。电动机与生产机械之间的传动方式分为直接传动和间接传动两种。通常,如果电动机和生产机械的转速相同,则可采用联轴器将电动机和生产机械直接连接起来,这种传动方式叫作直接传动,如图 6-6 所示。直接传动结构紧凑、效率高、设备简单、运行安全可靠的优点。

如果生产机械的额定转速与电动机的额定转速相差很大,就不宜采用直接传动方式,而应采用变速装置进行传动,这种传动方式叫作间接传动,如图 6-7 所示。

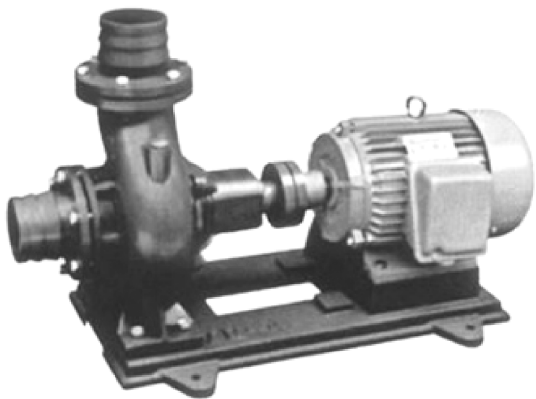


图 6-6 电动机的直接传动

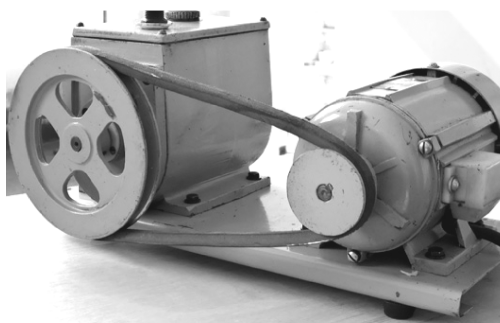


图 6-7 电动机的间接传动

2. 传动带传动分类和选择

传动带传动的优点是传动效率高、工作平稳、能缓冲、成本低、拆装方便,并且在过载时传动带“打滑”(俗称“丢转”),从而使电动机不受到损坏,因此传动带传动应用较广。

(1) 分类 按传动带的截面形状,传动带传动分为平带传动和 V 带传动两种。其中,平带传动又分为开口式、交叉式和半交叉式三种。开口式传动适用于电动机轴与负载机械

轴平行且转动方向一致的场合（见图 6-8），交叉式传动适用于电动机轴与负载机械轴平行但转动方向相反的场合（见图 6-9），半交叉式传动适用于卧式电动机拖动立式机械的场合（见图 6-10），但功率较大时不宜采用。

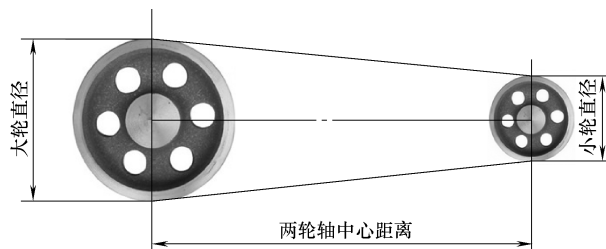


图 6-8 开口式带传动

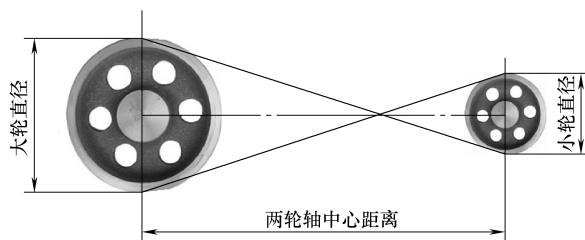


图 6-9 交叉式带传动

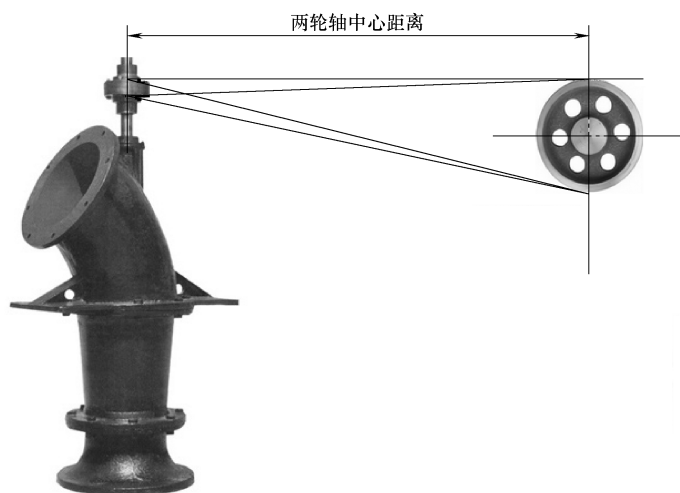


图 6-10 半交叉式带传动

(2) 选择 如果传动比 a （电动机的转速与生产机械的转速之比）在 5 以下（最好在 3 以内），宜采用平带传动；如果传动比 a 在 5 以上（可达到 10），宜采用 V 型带传动。

6.3 电动机的安装和接线

6.3.1 安装

1. 电动机安装地点的选择

电动机安装地点的选择应考虑运行、操作、维护和修理的安全与方便，应安装在通风、干燥、灰尘较少的地点，尽量避免装在潮湿的场所。

电动机一般不露天安装，当必须装于室外时，应搭设简易凉棚，或采取其他防雷雨、防日晒的措施。

电动机安装地点的四周应留出一定的空间（与其他设备至少保持 1.3m 距离），以便于电动机的安装、检修、监视和清扫。

电动机的安装环境温度要适宜，周围空气温度在 40℃ 以下，无强烈的热辐射。

2. 电动机底座基础的浇注和地脚螺栓的埋设

为了保证电动机能平稳地运转，应将其牢固地安装在固定的底座上。电动机的底座一般采用混凝土、砖或石块等做成，基础面积的大小应根据电动机底座来确定，每边一般比电动机底座大 100 ~ 150mm 左右，基础顶部应高出地面 100 ~ 150mm。基础的重量应大于机组重量的 1.5 ~ 2.5 倍。基础重量可根据所用材料估算：基础重量 = 基础平均面积 (m^2) × 基础高度 (m) × 每立方米重量（砖砌的基础每立方米约重 1600kg；混凝土基础重量每立方米约重 2200 ~ 2400kg）。

在基础砌筑过程中，要注意预埋安装电动机的地脚螺栓，也可以留好预备孔，待安装电动机时再装地脚螺栓。地脚螺栓的大小，应视电动机底座螺孔的大小而定，为防止地脚螺栓松动，应将埋入端做成钩形，如图 6-11 所示。

流动使用且功率小于 10kW 及以下的电动机，可以采用流动性或临时性基础。把机组安装在牢固的角铁支架上，支架可打桩固定，以防止电动机振动过大及出现跳跃现象。

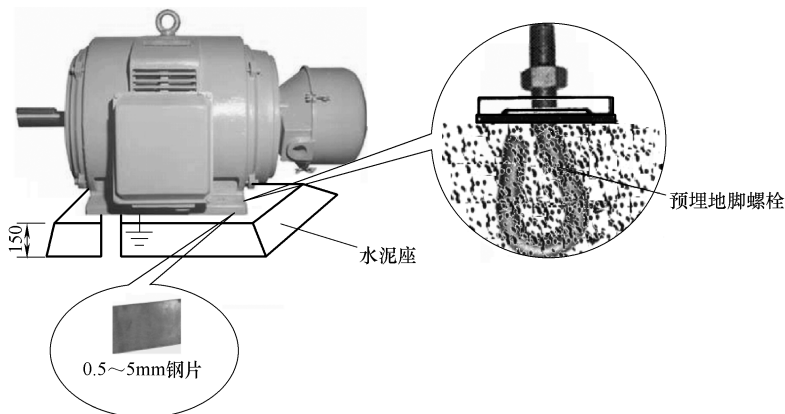


图 6-11 电动机基础及地脚螺栓的预埋

3. 电动机的安装

安装电动机时, 100kg 及以下的小型电动机, 可用人力抬到基础上; 比较重的电动机, 应用滑轮或起重器来安装。四个地脚螺栓上均要套用弹簧垫圈; 拧螺母时要按对角交错次序拧紧, 每个螺母要拧得一样紧。

穿导线的钢管或硬塑料管应在浇混凝土前埋好, 连接电动机的一端管口离地不得低于 100mm, 并应使它尽量靠近电动机的接线盒。

4. 电动机的校正

电动机校正的好坏, 是电动机安装质量的一个重要指标。如果让没有校正好的电机带动生产机械工作, 可能会出现振动、运行不稳等故障, 缩短机器寿命。

(1) **电动机的水平校正** 电动机在基础上安装好后, 应采用普通水平仪来校正电动机的纵向和横向水平。如不平, 可用 0.5 ~ 5mm 厚的铁片垫在机座下 (见图 6-11), 注意不能用木片或竹片垫在机座下, 以防拧紧螺母时或电动机在运行中, 木片、竹片变形或破裂, 影响安装质量。

(2) **电动机传动带传动装置的校正** 传动装置若安装校正不好, 会增加电动机的负载, 严重时烧坏电动机的绕组和损坏电动机的轴承。

安装时两个带轮的直径大小必须配套, 应按要求安装, 大、小轮装错, 会造成事故! 必须使两个带轮轴相互平行, 并且使两带轮的宽度中心线在一条直线上; 否则要增加传动装置的能量损耗, 而且会损坏传动带, 若是平带则易造成脱带事故。

电动机传动带传动装置的校正方法如图 6-12 所示, 如果两个带轮宽度相等, 则可按图 6-12a 所示方法, 用一根细绳拉紧并紧靠两个带轮的端面, 若细绳均接触 A、B、C、D 四点, 则已将带轮校正好, 否则应进行调整。如果两个带轮的宽度不同, 如图 6-12b 所示, 可先在两个带轮上画出它们的中心线, 然后拉紧一根细线, 一端对准宽轮 A、B 这条中心线, 如果两轴已平行, 这时准绳的另一端就与 C、D 那条中心线重合。如果不重合, 说明两轴不平行, 应以大轮为准, 调整小轮, 直到平行为止。

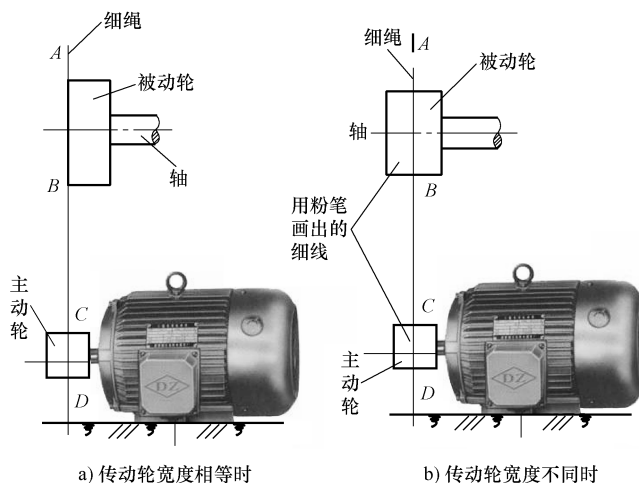


图 6-12 带式传动轮的校正方法

(3) 联轴器传动装置的校正 安装联轴器时，应把两片正、副联轴器分别装在电动机和机械的轴装上，然后把电动机和机械的轴装上，再把电动机移近连接处，当两轴相对地处于一条直线上时，先初步拧紧电动机机座的地脚螺栓，但不要拧得太紧。接着用钢直尺，按图 6-13 的方法搁在两半联轴器上，然后用手转动电动机转轴，旋转 180°，看两片联轴器是否有高度差，若有高度差可在两机底脚垫铁片或薄板，直至高度一致时，说明电动机和机械的轴已处于同轴状态，便可把联轴器和电动机分别固定好，最后拧紧地脚螺栓。

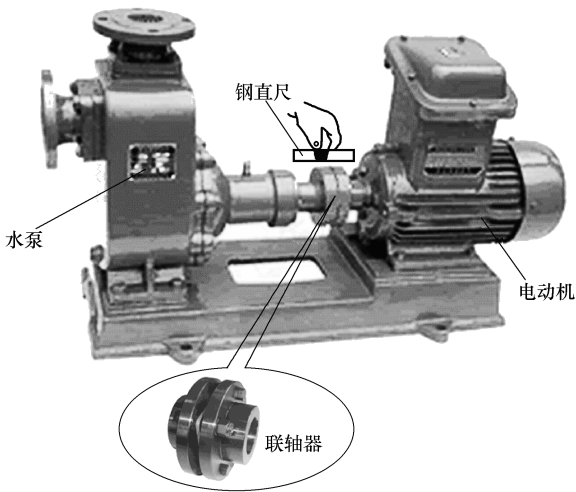


图 6-13 联轴器的安装和校正

6.3.2 接线

1. 电动机常用起动保护设备和导线的正确选取

我国从 1988 年 1 月起停止生产 J2、JO2 等老系列三相异步电动机，用 Y 系列三相异步电动机取代。表 6-4 列出了与 Y 系列电动机相匹配的各种起动保护设备和导线的型号规格，供电工参考。

表 6-4 Y 系列电动机起动保护设备和导线选择表

电动机				选用熔断器				封闭式负 荷开关	低压断 路器	25℃	30℃	35℃
型号	功率 /kW	额定 电流 /A	起动 电流 /A	RC1A	RL1	RM10	RT0	HH3 或 HH4	D25-20	BLV 导线截面 /mm ² 钢管 直径/mm		
				额定电流/A				额定电流 /A	热脱扣器 额定电流 /A			
Y801-4	0.55	1.6	10	10/5	15/4	15/6	50/10	15/5	3	2.5/15	2.5/15	2.5/15
Y 801-2	0.75	1.9	13	10/6	15/6	15/6	50/10	15/6	3			
Y 802-4		2.1	14									
Y 90S-6		2.3	14									
Y 802-2	1.1	2.6	18	10/10	15/10	15/10	50/10	15/10	4.5			
Y 90S-4		2.7	18									
Y 90L-6		3.2	19									
Y 90S-2	1.5	3.4	24	15/10	15/10	15/10	15/10	15/10	4.5			
Y 90L-4		3.7	24									
Y 100L-6		4.0	24									
Y 90L-2	2.2	4.7	33	15/15	15/15	15/15	50/15	15/15	6.5			
Y 100L1-4		5.0	35									
Y 112M 6		5.6	34									
Y 132S 8		5.8	32									

(续)

电动机				选用熔断器				封闭式负 荷开关	低压断 路器	25℃	30℃	35℃
型号	功率 /kW	额定 电流 /A	起动 电流 /A	RC1A	RL1	RM10	RT0	HH3 或 HH4	D25-20	BLV 导线截面 /mm ² / 钢管 直径/mm		
				额定电流/A				额定电流 /A	热脱扣器 额定电流 /A			
Y 100L-2 Y 100L2-4 Y 132S-6 Y 132M-8	3.0	6.4 6.8 7.2 7.7	45 48 47 43	15/15	60/20	60/20	50/20	15/15	10	2.5/15	2.5/15	2.5/15
Y 112M-2 Y 112M-4 Y132 M1-6 Y 132M1-8	4.0	8.2 8.8 9.4 9.9	57 62 61 59	30/20	60/25	60/25	50/30	30/20	10	2.5/15	2.5/15	2.5/15
Y 132S1-2 Y 132S-4 Y 132M2-6 Y 160M2-8	5.5	11 12 13 13	78 81 82 80	30/30	60/35	60/35	50/30	30/30	15			
Y 132S2-2 Y 132M-4 Y 160M-6 Y 160L-6	7.5	15 15 17 18	105 108 111 97	60/40	60/50	60/45	50/40	60/40	20	2.5/15	2.5/15	2.5/15
Y 160M1-2 Y 160M-4 Y 160L-6 Y 180L-8	11	22 23 25 25	153 158 160 151	60/60	100/80	60/60	50/50	60/60	30	4/20	4/20	6/20
Y 160M2-2 Y 160L-4 Y 180L-6 Y 200L-8	15	29 30	206 212	100/80	100/80	100/80	100/60	60/60	40	10/25	10/25	16/25
Y 160L-2 Y 180M-4 Y 200L1-6 Y 225S-8	18.5	36 36 38 41	249 251 245 248	100/80	100/80	100/80	100/80	—	50	16/25	16/25	16/25
Y 180M-2 Y 180L-4	22	42 43	295 298	100/100	100/100	100/80	100/80	—	50	16/25	10/25	25/32
Y 200L2-6 Y 225M-8		45 48	290 280	100/100	100/100	100/80	100/80	—	50	16/25	25/32	25/32
Y 200L1-2 Y 200L-4 Y 225M-6 Y 250M-8	30	57 57 60 63	398 398 387 378	—	—	200/160	200/120	—	60	25/32	25/32	35/40

(续)

电动机				选用熔断器				封闭式负 荷开关	低压断 路器	25℃	30℃	35℃
型号	功率 /kW	额定 电流 /A	起动 电流 /A	RC1A	RL1	RM10	RT0	HH3 或 HH4	D25-20	BLV 导线截面 /mm ² 钢管 直径/mm		
				额定电流/A				额定电流 /A	热脱扣器 额定电流 /A			
Y 200L2-2 Y 225S-4 Y 250M-6 Y 280S-8	37	70 70 72 79	489 489 468 472	—	—	200/160	200/120	—	80	35/40	35/40	50/50
Y 225M-2 Y 225M-4 Y 280S-6 Y 280M-8 Y 315S-10	45	84 84 85 83 98	587 589 555 559 637	—	—	200/160	200/150	—	100	50/50	50/50	70/70
Y 250M-2 Y 250M-4 Y 280M-6	55	103 103 105	719 718 682	—	—	200/200	200/200	—	120	70/70	70/70	70/70
Y 315S-8 Y 315M-10		109 120	709 780	—	—	200/200	200/200	—	140	70/70	70/70	70/70
Y 280S-2 Y 280S-4 Y 315S-6 Y 315M1-8 Y 315M3-10	75	140 140 142 148 160	981 978 923 962 1040	—	—	350/260	400/250	—	170	95/70 120/70	95/70 120/70	95/70 120/70

2. 电动机的接线

(1) 电动机绕组出线端的标志 三相定子绕组每相都有两个引出头，一头叫首端，另一头叫末端。三相绕组的六个线头都引导电动机的接线盒内，并用大写英文字母作标志。接现行的国家标准，用 U_1 、 V_1 、 W_1 表示各相绕组的首端；用 U_2 、 V_2 、 W_2 表示各相绕组的末端（旧标准中用 D_1 、 D_2 、 D_3 表示各相绕组的首端，用 D_4 、 D_5 、 D_6 表示末端）。三相异步电动机定子绕组出线端标志详见表 6-5。

表 6-5 异步电动机定子绕组出线端标志

定子绕组相数	1965 年国家标准		1980 年国家标准	
	首端	末端	首端	末端
第一相	D_1	D_4	U_1	U_2
第二相	D_2	D_5	V_1	V_2
第三相	D_3	D_6	W_1	W_2

(2) 电动机的星形（Y）联结 三相定子绕组的六根线头可将三相定子绕组接成星形或三角形。星形联结（用符号 Y 表示）是将三相绕组的末端并联起来，即将 U_2 、 V_2 、 W_2

接线柱用铜片连接在一起，而将三相绕组的首端分别接入三相交流电源，即将分别接入 A、B、C 三相电源上，如图 6-14 所示。

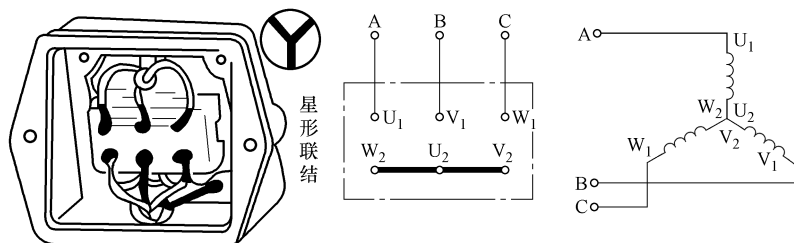


图 6-14 电动机的星形联结

(3) 电动机的三角形 (Δ) 联结 电动机的三角形联结，是将第一相绕组的首端 U_1 与第三相绕组的末端 W_2 连接在一起，在接入一相电源；第二相绕组的首端 V_1 与第一相绕组的末端 U_2 接在一起，再接入第二相电源；第三相绕组的首端 W_1 与第二相绕组的末端 V_2 接在一起，并接入第三相电源。也就是在接线柱 U_1 和 W_2 、 V_1 和 U_2 、 W_1 和 V_2 分别用铜片连接起来，再分别接入三相电源，如图 6-15 所示。

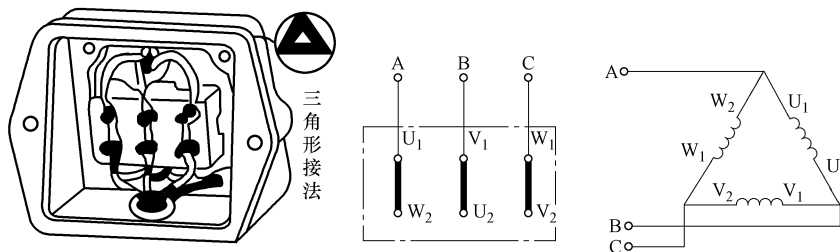


图 6-15 电动机的三角形联结

(4) 电动机的引线和控制 每台电动机应有单独的操作开关，安装地点应便于操作，安装高度一般距地面为 1.5m。室外电动机的操作开关，应安装在电动机近旁的操作箱内。安装有多台电动机的工作场所，如车间、排灌站、加工作坊等，除每台电动机设置的操作开关外，应有总的动力控制箱。

自电动机开关到电动机起动器及接线盒之间的引线，由于其间距离较短，其截面可依据电动机额定电流按允许载流量选择。对于那些重载起动的电动机，应再把导线截面提高 1~2 级，以利起动。表 6-6 列出了常用电动机引线最小截面的选择。

表 6-6 电动机引线最小截面的选择

电动机额定电流/A	引线截面/mm ²	
	铜线	铝线
1.5~6	1	1.5
6~10	1.5	2.5
11~20	2.5	4
21~30	4	6
31~45	6	10
46~60	10	16
61~90	16	35

电动机和附属装置的引线，最好采用有护套的绝缘电线。为安全起见，距地面 2.5m 以内的引线，应采用槽板或硬塑料管保护。当电动机引线沿地面敷设时，可采用电缆、管线或电缆沟保护，引线不应有裸露部分。

场间用电和一些移动式电器在电源处必须装设有明显断开点的开关和短路保护装置，同时应装设漏电保护器。引线应采用耐油、耐气候型的铜芯橡皮护套软电缆，护套软电缆应完好无损，以免漏电伤人。

电源、起动设备、保护装置等与电动机的连接，应采用接线盒或其他安全措施，避免因导电体的外露而威胁人身安全。

(5) 电动机外壳的保护接地 在电动机外壳上都有两个专门的接地螺栓，一定要把它引接到合格的接地装置上。在正常情况下，电动机外壳并不带电，人体接触到它并无触电危险。但是，当电动机绕组绝缘损坏或严重受潮时，外壳就会带电，人碰上去就会触电。要是电动机外壳接地，电就顺着接地线跑到地里，人就是碰到电动机外壳也没有什么危险。

3. 电动机的常见几种错误接线

(1) 把Y联结错接成Δ联结 把Y联结错接成Δ运行，会导致绕组电压增加，铁心磁通的励磁电流也会急剧增加，可达电动机额定电流的几倍以上，再加上负载电流，这样大的定子回路电流，将使电动机定子绕组因严重过热而烧毁。

(2) 把Δ联结错接成Y联结 误把Δ运行的电动机接成Y运行后，每相定子绕组上的相电压就会下降到原来的电压的 0.58 倍。例如，电源电压为 380V，三角形联结时定子绕组相电压也为 380V。如果错接成了星形联结后，每相定子绕组的相电压减小为 $0.58 \times 380V = 220V$ ，这样电动机的转矩将要减小到额定转矩的 0.33 倍。这时如果仍带上额定负载运行，为了克服负载的阻力矩，就会迫使定子绕组中的电流增大，使转矩尽力去平衡负载阻力矩，从而造成过载发热，甚至烧毁电动机。

但是，电动机所带负载较轻（一般小于额定功率的 40%）时，不需要较大的负载电流使转矩去克服负载阻力矩，但因绕组电压低，励磁电流减小很多，总的定子电流还是减小，这样电动机的功率因数和效率有所提高，温升也下降。所以，有时对运行中的电动机，当负载小于额定功率的 40%（也就是通常说的“大马拉小车”）时，有意将三角形接成星形联结是有利的。

(3) 电动机一相绕组首端与末端接反 假若把同一绕组的首端 U1 和末端，或 V1 和 V2、W1 和 W2 相互颠倒了，叫作一相接反。合闸后，由于定子绕组建立的已经不是对称旋转磁场，电动机会发出强烈振动和沉闷的“嗡嗡”声，出现不能起动或转速升不上去的现象，三相电流不平衡，绕组急剧发热，如不及时断开电源，时间稍长就会烧毁绕组。

(4) 零线错当火线使用 在三相四线制供电系统中，错把零线当相线使用，这样在电动机的绕组上，不是对称三相电压，其中有两相的电流过大。通过测试和计算可知，在同样的负载下，这两相的电流比正常时大 1~2 倍，即使在空载情况下，也往往达到额定电流值。当电动机满载时，由于两相电流迅速增大，会造成电动机发热或烧坏。

6.3.3 电动机控制设备的安装和操作

1. 电动机控制设备的安装要求

- 1) 每台电动机一般应装设单独的操作开关或起动器，在条件许可或工艺需要时，也可一组电动机共用一套控制器件。
- 2) 对于实行自动控制或联锁控制的电动机，应保证对每台电动机都能够进行单独手动控制。此外，在多点控制的电动机旁边还应装设就地控制和解除远方控制的开关。
- 3) 如果在控制地点看不见电动机所拖动的机械设备，则宜装设指示电动机工作状态的信号、仪表，同时应在所拖动的机械旁边装设预报起动信号的装置或警铃，以免电动机突然起动而危及人身安全。此外，在所拖动的机械旁边还应装设事故紧急断电开关或按钮。
- 4) 0.5kW 以下的电动机，允许使用开关进行电源通断的直接控制。频繁起动的电动机，则应在控制板上安装一只熔断器。
- 5) 5.5kW 以下的电动机，允许采用瓷底胶盖刀开关进行控制，开关的额定电流应为电动机额定电流的 2.5 倍。安装时，最好将刀开关内的熔体用铜丝接通，然后在开关的后一级另安装一只熔断器作为过载和短路保护装置。
- 6) 5.5kW 以上的电动机，应采用空气断路器、组合开关、接触器等控制。
- 7) 10kW 以上容量较大的电动机，起动电流较大，为不影响同一电网中其他用电设备的正常运行，一级保证线路的安全，应加装起动设备，以减小起动电流。常用的起动设备有星-三角（Y-Δ）起动器和自耦减压起动器等。表 6-7 给出了常用减压起动器的技术数据，以供读者参考。

表 6-7 常用减压起动器技术数据

名 称	型 号	起动功率/kW	额定电流/A
油浸式自耦减压起动器	QJ3-10	10	22
	QJ3-14	14	30
	QJ3-20	20	43
	QJ3-28	28	59
	QJ3-40	40	85
	QJ3-55	55	120
	QJ3-75	75	145
	QJ3-100	100	200
空气式手动自耦减压起动器	QJ10-10	10	20
	QJ10-13	13	26
	QJ10-17	17	34
	QJ10-20	20	43
	QJ10-30	30	58
	QJ10-40	40	77
	QJ10-55	55	105
	QJ10-75	75	142

(续)

名 称	型 号	起动功率/kW	额定电流/A
自耦减压起动器	XJ01-14	14	28
	XJ01-20	20	40
	XJ01-28	28	58
	XJ01-40	40	77
	XJ01-55	55	110
	XJ01-75	75	142
	XJ01-80	80	152
	XJ01-95	95	180
	XJ01-100	100	190

8) 电动机的操作开关,一般应装在既便于操作时监视电动机的起动和运转情况,又能保证操作人员安全,且不易产生误动作的地点。

9) 对于不需要频繁起动的小型电动机只需安装一个开关。而对于需要频繁起动,或者需要换向和变速操作的电动机,则应安装两个开关(实行两级控制)。第一个开关用来控制电源(常采用铁壳开关、空气断路器或转换开关);第二个开关用来控制电动机。

如果采用无明显分断点的开关(如电磁开关),则应在前一级装一个有明显分断点的开关(如刀开关、转换开关等);如果采用容易产生误操作的开关(如手柄倒顺开关、按钮开关等),也应在前一级加装控制开关,以免因误操作而发生事故。

2. 电动机控制设备的正确操作

操作电动机的控制设备时,必须保持正确的操作姿势:操作者应站在开关的侧面,面对电动机及其拖动的生产机械,双目注视合闸后电动机的起动、传动装置的传动和被拖动机械的转动情况。如果发现异常情况,应立即拉闸停电。不能推上合闸手柄就离开操作位置。电动机各种常用开关设备的正确操作方法如下:

(1) **按钮的操作要求** 应一按到底,动作要快,以免电磁开关误动作。

(2) **瓷底胶盖刀开关的操作要求** 合闸时,要向上推足,使动触头刀片完全插入静触头座中;分闸时,要向下拉到底,切不可使手柄停留在刚离开静触头的位置上。

(3) **铁壳开关的操作要求** 切勿开盖进行分、合闸操作(开关的连锁机构损坏,在未修复前,作为例外情况可以一次性的开盖分、合闸)。

(4) **空气断路器的操作要求** 由于空气断路器的操作机构为快速分、合闸结构,操作时动作不宜过快,用力不宜过猛,以免损坏操作机构。

(5) **组合开关的操作要求** 手柄应顺时针方向旋转。否则,手柄将被拧出轴柄。手柄每次变换到位时,会发出“嗒”声。如果没有发出声音,则应确认触头是否到位,以免造成误操作。

(6) **起动器的操作要求** 常见的操作机构是手柄合闸,按钮分闸。手柄的停位有三档:中间是空位,即分闸位,标有“停”字;内档是“起动”位;外档是“运转”位。起动电动机时,先将手柄推到“起动”位(不要松手),待电动机的转速稳定,声响均匀,再将手柄拉到“运转”位置。变位不要过快,否则就不能完全达到降压起动的目的。停车时,只要按一下“停”按钮,电动机即停止运转。

6.3.4 正确选择电动机起动保护设备和导线

为了科学合理地选择电动机起动保护设备和导线，读者可以参考表 6-8 进行选择。

表 6-8 常用电动机起动保护设备及管线选择表

电动机				选用熔断器				铁壳开关	低压断路器	25℃	30℃	35℃
型号	功率 /kW	额定 电流 /A	起动 电流 /A	RC1A	RL1	RM10	RT0	HH3 或 HH4	D25-20	BLV 导线截面 /mm ² 钢管 直径/mm		
				额定电流/A				额定电流 /A	热脱扣器 额定电流 /A			
Y801-4	0.55	1.6	10	10/5	15/4	15/6	50/10	15/5	3	2.5/15	2.5/15	2.5/15
Y 801-2	0.75	1.9	13	10/6	15/6	15/6	50/10	15/6	3			
Y 802-4		2.1	14									
Y 90S-6		2.3	14									
Y 802-2	1.1	2.6	18	10/10	15/10	15/10	50/10	15/10	4.5			
Y 90S-4		2.7	18									
Y 90L-6		3.2	19									
Y 90S-2	1.5	3.4	24	15/10	15/10	15/10	15/10	15/10	4.5			
Y 90L-4		3.7	24									
Y 100L-6		4.0	24									
Y 90L-2	2.2	4.7	33	15/15	15/15	15/15	50/15	15/15	6.5			
Y 100L1-4		5.0	35									
Y 112M 6		5.6	34									
Y 132S 8		5.8	32									
Y 100L-2	3.0	6.4	45	15/15	60/20	60/20	50/20	15/15	10	2.5/15	2.5/15	2.5/15
Y 100L2-4		6.8	48									
Y 132S-6		7.2	47									
Y 132M-8		7.7	43									
Y 112M-2	4.0	8.2	57	30/20	60/25	60/25	50/30	30/20	10	2.5/15	2.5/15	2.5/15
Y 112M-4		8.8	62									
Y132 M1-6		9.4	61									
Y 132M1-8		9.9	59									
Y 132S1-2	5.5	11	78	30/30	60/35	60/35	50/30	30/30	15	2.5/15	2.5/15	2.5/15
Y 132S-4		12	81									
Y 132M2-6		13	82									
Y 160M2-8		13	80									
Y 132S2-2	7.5	15	105	60/40	60/50	60/45	50/40	60/40	20	2.5/15	2.5/15	2.5/15
Y 132M-4		15	108									
Y 160M-6		17	111									
Y 160L-6		18	97									
Y 160M1-2	11	22	153	60/60	100/80	60/60	50/50	60/60	30	4/20	4/20	6/20
Y 160M-4		23	158									
Y 160L-6		25	160									
Y 180L-8		25	151									

(续)

电动机				选用熔断器				铁壳开关	低压断路器	25℃	30℃	35℃
型号	功率 /kW	额定 电流 /A	起动 电流 /A	RC1A	RL1	RM10	RT0	HH3 或 HH4	D25-20	BLV 导线截面 /mm ² / 钢管 直径/mm		
				额定电流/A				额定电流 /A	热脱扣器 额定电流 /A			
Y 160M2-2 Y 160L-4 Y 180L-6 Y 200L-8	15	29 30	206 212	100/80	100/80	100/80	100/60	60/60	40	10/25	10/25	16/25
Y 160L-2 Y 180M-4 Y 200L1-6 Y 225S-8	18.5	36 36 38 41	249 251 245 248	100/80	100/80	100/80	100/80	—	50	16/25	16/25	16/25
Y 180M-2 Y 180L-4	22	42 43	295 298	100/100	100/100	100/80	100/80	—	50	16/25	10/25	25/32
Y 200L2-6 Y 225M-8		45 48	290 280	100/100	100/100	100/80	100/80	—	50	16/25	25/32	25/32
Y 200L1-2 Y 200L-4 Y 225M-6 Y 250M-8	30	57 57 60 63	398 398 387 378	—	—	200/160	200/120	—	60	25/32	25/32	35/40
Y 200L2-2 Y 225S-4 Y 250M-6 Y 280S-8	37	70 70 72 79	489 489 468 472	—	—	200/160	200/120	—	80	35/40	35/40	50/50
Y 225M-2 Y 225M-4 Y 280S-6 Y 280M-8 Y 315S-10	45	84 84 85 83 98	587 589 555 559 637	—	—	200/160	200/150	—	100	50/50	50/50	70/70
Y 250M-2 Y 250M-4 Y 280M-6	55	103 103 105	719 718 682	—	—	200/200	200/200	—	120	70/70	70/70	70/70
Y 315S-8 Y 315M-10		109 120	709 780	—	—	200/200	200/200	—	140	70/70	70/70	70/70
Y 280S-2 Y 280S-4 Y 315S-6 Y 315M1-8 Y 315M3-10	75	140 140 142 148 160	981 978 923 962 1040	—	—	350/260	400/250	—	170	95/70 120/70	95/70 120/70	95/70 120/70

6.4 电动机的起动试运行

6.4.1 起动前的检查

对于新装或停用时间较长的电动机，使用前必须进行检查，发现问题应及时处理，避免电动机“带病”运行。检查的主要项目包括：

- 1) 检查电动机和起动设备的绝缘电阻。用500V绝缘电阻表测定，其绝缘电阻不得小于 0.5Ω 。
- 2) 检查电动机的外表有无裂纹，各紧固螺钉及零件是否齐全，电动机的固定情况是否良好，接地和接零保护是否可靠和符合要求。
- 3) 根据铭牌所示数据，如电压、功率、频率、联结、转速等与电源、负载比较是否相符。
- 4) 扳动电动机转轴，检查转子能否自由转动，转动时有无杂声。
- 5) 检查电动机的通风情况及轴承润滑情况是否正常。
- 6) 检查电动机传动机构的工作是否可靠，传动带松紧是否适度，连接是否牢固，联轴器的螺栓和销子是否紧固。

6.4.2 电动机起动时的注意事项

- 1) 合闸起动前，应检查电动机及拖动机械上或附近是否有杂物异物，以免发生人身和设备事故。第一次起动应不带负载空转试运行，待无问题后，再带上负载试起动、试运行。
- 2) 操作电动机的开关设备时，操作人应站在开关旁边，合闸、拉闸都要果断迅速，不可中途停止。
- 3) 合闸后，如果电动机不转，要果断地迅速拉闸，切断电源，检查熔丝及电源接线等是否有问题。绝不能合闸等待或带电检查，否则会烧毁电动机或发生其他事故。
- 4) 起动后，若电动机转动缓慢，起动困难，声音不正常，或机械工作不正常，电流表、电压表指示异常等，都应立即切断电源检查，待查明原因、排除故障后，才能重新起动。
- 5) 对于笼型电动机的星形-三角形起动或自耦减压起动，若是手动操作的，应注意起动操作顺序和控制好延时长短。
- 6) 电动机不能在短时间内连续起动，以免起动设备和定子绕组过热。电动机在冷状态下，空载连续起动不应超过3~5次；在热状态下，不得超过2次。
- 7) 多台电动机应避免同时起动，按容量从大到小逐台起动，以避免线路上的起动电流过大，电压下降太多，影响所有电动机的正常起动，甚至使开关设备跳闸。

6.4.3 电动机直接起动的要求

电动机直接起动的优点是安装简单、操作方便、一次性投资少，起动转矩大。缺点是

起动电流大，对接于同一电网的其他用电设备产生影响。能否直接起动的要求如下：

- 1) 电动机是按照直接起动方式而设计制造的。
- 2) 电动机所拖动的生产机械应能承受直接起动的冲击转矩。
- 3) 查看电源容量是否允许电动机直接起动，表 6-9 是按电源容量确定的能直接起动的电动机功率，可供读者参考。

表 6-9 按电源容量确定的能直接起动的电动机功率参考表

电源情况	允许直接起动的电动机最大功率
单独变压器供电	电动机容量不超过变压器容量的 80%
高压线路	不超过电动机连接线路上的短路容量的 3%
变电所	经常起动时,不超过变压器容量的 20%
	偶尔起动时,不超过变压器容量的 30%

- 4) 用算法确定电动机能否直接起动。估算公式如下：
- 允许直接起动的电动机功率 $\leq k \times$ 配电变压器容量
- 式中， k 为安全系数。 k 的取值受电动机的起动特性、电动机容量、电源供电线路的配置等因素的影响， k 的选取可以根据下列几种情况确定：一般情况下， k 取 0.2 ~ 0.3；当配电变压器的供电对象以动力负载为主，电动机属轻载非频繁起动，起动电压对照明的影响可以忽略的情况下， k 可以取 0.3 ~ 0.35；当电动机功率较大，且属轻载非频繁起动，供电线路配有单独的移相电容器，不得小于电动机功率的 1/3；当配电变压器对单独的电动机供电时， k 值可取 0.65 ~ 0.75。
- 5) 根据配电变压器的容量确定电动机能否直接起动的方法是参考表 6-10 中所列出的数据。

表 6-10 6 (10)/0.4kV 变压器容量允许直接起动的电动机最大功率

供电变压器容量 $S_b/kV \cdot A$						起动时允许电压降 (%)	变压器供电的其他负荷 S_p 和功率因数 $\cos\varphi$
100	180	320	560	750	1000		
起动电动机最大功率/kW							
22	40	75	115	155	215	10	$S_p = 0.5 S_b$
30	55	100	185	240	280	15	$\cos\varphi = 0.7$
17	30	75	100	130	185	10	$S_p = 0.5 S_b$
30	55	100	185	240	280	15	$\cos\varphi = 0.8$

注：表所列数据是指电动机与变压器低压母线直接相连而言。

6.4.4 电动机的起动试运行操作方法

电动机的起动试运行是对电动机安装质量的全面检查，试运行的操作要求如下：

- 1) 熟悉起动电动机的操作规程，掌握各类起动装置的操作方法。
- 2) 合闸前要清除电动机周围的杂物，提示在场相关人员。
- 3) 合闸时要眼看电动机，耳听响声。如果发现电动机不转、强烈震动、有异响、冒

烟、着火等现象，必须立即切断电源。如果合闸后电动机运转正常，应在1min以后才能离开操作地点。

4) 起动多台电动机时，要先起动容量大的，后起动容量小的，逐台起动。

5) 如果电动机的负载有数个转动部分，应有数人分别观察各转动部分，以便及时发现问题。

6) 同一台电动机不可多次连续起动，因为较大的起动电流将使电动机绕组严重发热。通常，电动机空载连续起动不宜超过5次。

7) 修理过的或长期闲置未用的电动机，试车时均应空转。只有空转试车合格，才可加负载试车。

8) 在试运转过程中应跟踪测量电动机在空载状态和额定负载状态下的温升、起动电流、工作电流。如果这些参数正常，就可以投入正常运行。电动机空载时运行时间为1~6h。

6.5 电动机运行中的监视

电动机在运行中的状况，可以通过电动机电流的大小、温度的高低、声响的差异等表面的特征表现出来，因此电工人员可以通过眼、耳、手、鼻，同时借助仪表、工具加以监视和检测，发现异常，应及时停机处理，排除故障。

1. 监视电动机的温度

运行中的电动机都要发热，其温升不应超过铭牌上的允许限度。电动机的绝大部分故障都会使它的定子电流增大，温度升高，因此如果发现电动机的温度超过允许值，应立即停机检查，查明严重发热的原因，排除故障后才可以运行。检查电动机的温升常用如下方法：

(1) **手摸** 对中、小容量的电动机，用手背触摸电动机的外壳，如果没有发烫到要缩手的感觉，说明电动机没有过热。如果烫的马上缩手，难以忍受，则说明电动机的温度已超过了允许值。

用手背而不是用手心摸电动机的外壳，是为了防止机壳一旦带电时，手背比手心容易自然地摆脱带电的外壳。为了防止触电，最好在摸机壳前，先用验电笔检测一下机壳是否带电。

(2) **滴水** 在机壳上滴几滴水，如果看见冒热气而无声音，说明电动机没有过热；如果既冒热气，又听到“滋滋”声，说明电动机已过热，温升已超过允许值。

(3) **用温度计测量** 这是比较准确而直观的方法，利用玻璃温度计（0~100℃）测量。测量时先把电动机外壳顶上的吊环螺钉拧下来，将温度计插入吊环孔内，再用棉纱等隔热材料塞好吊环孔。所测得的温度是绕组的表面温度，比绕组最热点的温度要低10℃左右，将测得温度再加10℃就是绕组最热点的实际温度。将这一实际温度减去当时的环境温度，就是电动机在运行中的温升。

实际上，电动机在运行中，温升超过最大允许值才是电动机故障的准确信号。

2. 监视电动机的运行电流

运行中电动机的电流一般不应超过铭牌上规定的额定电流，已装电流表的电动机，可以在电动流表上画一条而定电流的红线。没有电流表的小型电动机，也应定期用钳形电流表测量三相电流。此外，还应注意电动机三相电流是否平衡，任意两相间的电流差值不应大于额定电流的 10%，否则说明电动机有故障。

3. 监视电源电压的变化

电源电压变化范围不应超过或低于额定电压的 10%，若低于该范围，应适当减轻负载运行。同时，三相电压不平衡也不能太大，任意两相电压的差值不应超过 5%，否则会使电动机发热过快。电动机电源最好装一只电压表和一只电压换相开关，以便随时监视三相电压。

4. 监视电动机在运行中的声音、振动和气味

电动机正常运行时，声音均匀、运转平稳、无焦臭味。若发现异常声响、剧烈振动、有绝缘漆焦臭味等，说明电动机过热或有其他故障。

当负载过重或发生断相运行时，电动机会发出沉闷的“嗡嗡”声；转子与定子铁心摩擦时，会发出金属摩擦声和撞击声；轴承严重损坏，就会发出“咕噜、咕噜”的声音；若轴承缺油或油中有杂质，会产生“沙沙”声等。总之，电动机运行中如果发现有较大的振动或异常声响时，应立即查明原因，及时处理，以免造成更大的事故。

5. 监视传动装置的工作情况

要随时注意带轮或联轴器是否松动，传动带有无打滑现象（打滑是传动带太松所致），传动带接头是否完好等。

6.6 电动机的定期检查保养

1. 每月进行检查的项目

- 1) 电动机各部位的发热情况；
- 2) 电动机和轴承运转时的声音；
- 3) 各主要连接处的情况，控制设备的工作情况；
- 4) 擦拭电动机外部的油污及灰尘，吹扫内部的灰尘；
- 5) 测量电动机的转速和振动情况；
- 6) 拧紧各紧固螺钉；
- 7) 检查接地装置。

2. 每半年检查项目

- 1) 清扫电动机内部和外部灰尘、污物等；
- 2) 检查润滑情况，补充润滑脂或更换润滑油；
- 3) 检查并调整通风及冷却情况；
- 4) 检查并调整传动装置。

3. 每年进行的检查项目

- 1) 解体清扫电动机绕组、通风沟和接线板;
- 2) 测量绕组的绝缘电阻,必要时进行干燥处理;
- 3) 清洗轴承及润滑系统,检查其状况,测量轴承间隙,更换磨损超过规定的传动轴承,对损坏严重的滑动轴承应重新挂锡;
- 4) 测量并调整电动机定、转子间的气隙;
- 5) 清扫起动器、控制设备、附属设备,更换已经损坏的触头、元件及零部件;
- 6) 检修接地装置;
- 7) 检查并调整传动装置;
- 8) 检查开关、熔断器的完好情况;
- 9) 检查、校核测试和纪录仪表。

6.7 电动机的常见故障排除

1. 电动机故障的检查步骤

电动机在使用中常见的故障一般可分为机械故障和电气故障两部分。为了能迅速找出故障原因,及时修复电动机,当故障不明时,可按下述步骤检查:

- 1) 检查三相电源是否有电;
- 2) 如果电源有电,应检查熔丝、开关及起动器是否有故障(如螺钉是否牢固、接线是否正确等);
- 3) 如果开关和起动设备完好,应卸下传动带或联轴器,使电动机空载运行,检查故障是否由负载引起;
- 4) 如果故障发生在电动机本身,应打开接线盒,检查接线有无焦痕,是否断裂;
- 5) 如果接线良好,应检查轴承是否损坏,润滑脂是否干涸、量少;
- 6) 如果轴承也完好,应检查定子绕组有无焦痕、断裂、短路或碰壳故障;
- 7) 最后检查转子是否有断条。

电动机发生故障时,往往会发生转速变慢、有噪声、温度显著升高、冒烟、有焦糊味、机壳带电和三相电流不平衡或增大等现象,通过对这些现象的归纳分析,从而有针对性地尽快找出故障。

2. 电动机的常见故障与排除方法

(1) 电动机不能起动

这种故障的主要原因如下:

- ① 电源没有接通或断路;
- ② 电动机的绕组断路;
- ③ 绕组相间短路或接地;
- ④ 绕组接线错误;
- ⑤ 控制线路接错;

⑥ 过流继电器整定值过小。

排除方法：

- ① 认真检查开关、熔断器、控制电器的触头、电动机的引出线，查出故障并排除；
- ② 如果是绕组的故障就要及时送到维修站去维修；
- ③ 拆卸电动机，检查各绕组电阻值和接线情况，找出短路点、接地点修复；
- ④ 重新判断绕组首末端，正确接线；
- ⑤ 检查控制线的错误并纠正；
- ⑥ 调大过流继电保护设备的整定电流。

(2) 接通电源后电动机嗡嗡响但不转动

故障原因如下：

- ① 电源电压过低；
- ② 三相电源断相；
- ③ 绕组接错；
- ④ Δ 联结绕组，错接成 Y 联结；
- ⑤ 装配不良，润滑不良；
- ⑥ 负载过大或机械卡住。

排除方法：

- ① 检查电源电压，并与供电部门联系解决；
- ② 检查三相电源，排除开关、熔断器故障；
- ③ 检查绕组接线，判断绕组首末端，重新正确接线；
- ④ 检查铭牌规定，改成 Δ 联结，考虑补偿起动；
- ⑤ 检查电动机轴承，重新装配，更换油脂；
- ⑥ 检查机械负载，排除机械故障或更换电动机。

(3) 电动机起动时熔丝烧断或熔断器动作

故障原因：

- ① 电源断相；
- ② 一相绕组对地接地；
- ③ 熔丝电流过小；
- ④ 电源馈线断路；
- ⑤ 机械设备卡住。

排除方法：

- ① 检查三相电源，找出断点并修复；
- ② 检查绕组对地绝缘，拆修电动机绕组；
- ③ 检查熔丝大小，重新计算后，更换新熔丝；
- ④ 检查电源馈线并更换；
- ⑤ 检查拖动机械，并排除机械故障。

(4) 电动机外壳带电

故障原因:

- ① 绕组受潮绝缘已经被破坏;
- ② 绝缘严重老化;
- ③ 错将相线当成接地线;
- ④ 引出线与接线盒相碰短路。

排除方法:

- ① 检查绕组对地绝缘, 并做烘干处理;
- ② 检查绕组绝缘, 或直接更换绕组;
- ③ 检查电源接线并改正;
- ④ 检查接线盒, 做好引出线绝缘处理。

(5) 电动机空载或负载运行时, 电流表指针摆动

故障原因:

- ① 绕线转子电动机有一相电刷接触不良或一相断路;
- ② 绕线转子电动机集电环短路装置接触不良;
- ③ 笼型转子断条或开焊;

排除方法:

- ① 检查电刷, 改善电刷与集电环的接触面; 检查断路处, 并排除;
- ② 检查短路装置, 必要时要更换;
- ③ 检查转子, 并利用开口变压器或其他方法检查;

(6) 电动机起动困难, 加额定负载后, 电动机转速比额定转速低

故障原因:

- ① 电源电压过低;
- ② Δ 联结绕组错接成了Y联结;
- ③ 部分绕组接错;
- ④ 笼型转子断条。

排除方法:

- ① 检查电源电压, 与供电部门联系解决;
- ② 核对接法, 重新改为 Δ 运行;
- ③ 检查绕组接线, 重新判断绕组首末端正确接线;
- ④ 拆检电动机, 并送维修站修理。

(7) 电动机运行时振动过大

故障原因:

- ① 电动机地脚螺栓松动, 或电动机安装不平衡, 或基础强度不够;
- ② 轴承磨损严重, 间隙不合格;
- ③ 气隙不均匀;
- ④ 转子不平衡;
- ⑤ 机壳强度不够;

- ⑥ 风扇不平衡；
- ⑦ 绕线转子的绕组短路；
- ⑧ 笼型转子开焊、断路；
- ⑨ 定子绕组出现接地、断路、短路、接线错误等故障；
- ⑩ 转轴弯曲；
- ⑪ 铁心变形或松动；
- ⑫ 齿轮接手松动或靠背轮或带轮安装不符合要求。

排除方法：

- ① 检查地脚螺栓及时紧固或更换；找平电动机或将基础加固；
- ② 使轴承间隙符合要求；
- ③ 调整气隙，使符合要求；
- ④ 检查原因，经过清扫、紧固各部螺栓后校动平衡；
- ⑤ 增强机械强度；
- ⑥ 将风扇校正平衡；
- ⑦ 检查并及时维修绕组；
- ⑧ 进行补焊或更换笼条；
- ⑨ 修理定子绕组；
- ⑩ 校直转轴；
- ⑪ 校正铁心，然后重新叠装铁心；
- ⑫ 重新找正，或重新安装，或进行修理。

(8) 电动机运行时有杂音

故障原因：

- ① 齿槽配合不当；
- ② 轴承磨损严重；
- ③ 转子摩擦绝缘纸或槽楔；
- ④ 定子摩擦转子；
- ⑤ 定子绕组接线错误；
- ⑥ 绕组有短路、断路等故障；
- ⑦ 重绕时每相匝数不相等；
- ⑧ 轴承缺少润滑脂；
- ⑨ 风扇碰风罩或风道堵塞；
- ⑩ 定、转子铁心松动。

排除方法：

- ① 认真校验定子与转子槽的配合；
- ② 检修或更换轴承；
- ③ 剪修绝缘纸或槽楔；
- ④ 调整气隙；

- ⑤ 正确连接定子绕组；
- ⑥ 检查绕组，并排除故障；
- ⑦ 重新绕线，改正匝数；
- ⑧ 清洗轴承，添加润滑脂；
- ⑨ 修理风扇和风罩，清理通风道；
- ⑩ 查找振动原因，并排除。

(9) 轴承发热

故障原因：

- ① 轴承型号过小、过载，使滚动体承受载荷过大
- ② 轴承与轴颈或端盖配合过松或过紧；
- ③ 油封过紧；
- ④ 轴承内盖偏心，与轴承相擦；
- ⑤ 轴承间隙过大或过小；
- ⑥ 滑动轴承油转不灵活；
- ⑦ 电动机与传动机构连接偏心或传动带过紧；
- ⑧ 润滑脂过多或过少；油质含杂质；
- ⑨ 电动机两侧端盖或轴承盖未装平；
- ⑩ 轴承有故障，磨损、有杂物等。

排除方法：

- ① 选择合适的轴承型号；
- ② 过松时，可以用农机2#胶粘剂或低温镀铁处理；过紧时，适当车细轴颈，使之符合配合公差的要求；检查轴承与端盖的间隙，并调整至合适；
- ③ 更换或修理油封；
- ④ 修理轴承内盖，使与轴的间隙适合；
- ⑤ 更换新轴承；
- ⑥ 检修油环，使油环尺寸正确，校正平衡；
- ⑦ 校准电动机与传动机构连接的中心线，并调整传动带张力；
- ⑧ 拆开轴承盖，检查油量，要求油脂填充至轴承室容积的 $1/2 \sim 1/3$ ；检查油内杂质，并更换洁净润滑脂；
- ⑨ 按正确工艺将端盖或轴承盖装如止口内，然后均匀紧固螺钉；
- ⑩ 更换损坏的轴承；对含有杂质的轴承要彻底清洗、换油。

(10) 电动机过热或冒烟

故障原因：

- ① 定子与转子摩擦；
- ② 电动机通风道不畅通或环境温度进风温度过高；
- ③ 电源电压过高，使铁心磁通密度过饱和，造成电动机温升过高；
- ④ 绕组表面粘满尘垢或异物，影响电动机散热；

⑤ 笼型转子断条或绕线转子绕组接线松脱，电动机在额定负载下转子发热，使电动机温升过高；

⑥ 电动机频繁起动或正反转次数过多；

⑦ 电动机过载或拖动的生产机械阻力过大，使电动机发热；

⑧ 绕组匝间短路、相间短路以及绕组接地；

⑨ 灼线时，铁心被灼过，使铁耗增大；

⑩ 电动机两相运转；

⑪ 重绕后绕组浸渍不良；

⑫ 电源电压过低，在额定负载下电动机温升过高；

⑬ 绕组接线错误。

排除方法；

① 检查故障原因，如果是由于轴承间隙超限，则应更换新轴承，如果转轴弯曲，则需要调直处理；铁心松动或变形时，应处理铁心，消除故障；

② 隔离电动机附近高温热源；不使电动机在阳光下暴晒；改善环境温度，采取降温措施；

③ 如果电源电压超过标准很多，应与供电部门联系解决；

④ 清扫或清洗电动机，并使电动机通风沟畅通；

⑤ 查明断条和松脱处，重新补焊或扭紧固定螺钉；

⑥ 减少电动机起动及正、反转次数或更换合适的电动机；

⑦ 排除拖动机械故障，减少阻力；根据电流指示，如超过额定电流，需减低负载；更换较大功率电动机或采取增容措施；

⑧ 查明绕组故障并及时修理；

⑨ 做铁心检查试验，检修铁心，排除故障；

⑩ 检查熔丝、开关接触点，排除故障；

⑪ 要采取二次浸漆工艺，最好采用真空浸漆措施；

⑫ 若因电源线电压降过大而引起，可更换较粗的电源线；如果是电源电压过低，可向供电部门联系，提高电源电压；

⑬ Y联结电动机误接成Δ联结，或Δ联结电动机误接成Y联结，要改正接线。

7.1 二极管

二极管又称晶体二极管，它是只往一个方向传送电流的电子器件。具有按照外加电压的方向，使电流流动或不流动的性质。二极管的文字符号为“VD”，其结构及电路图形符号如图 7-1 所示。

7.1.1 二极管的分类

二极管种类有很多，按照所用的半导体材料，可分为锗二极管（Ge 管）和硅二极管（Si 管）。根据其不同用途，可分为检波二极管、整流二极管、稳压二极管、开关二极管、隔离二极管、肖特基二极管、光敏二极管、发光二极管、硅功率开关二极管、旋转二极管等。按照管芯结构，又可分为点接触型二极管、面接触型二极管及平面型二极管。如图 7-2 所示。

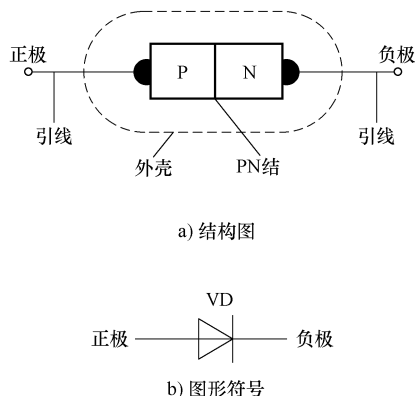


图 7-1 二极管的结构及图形符号

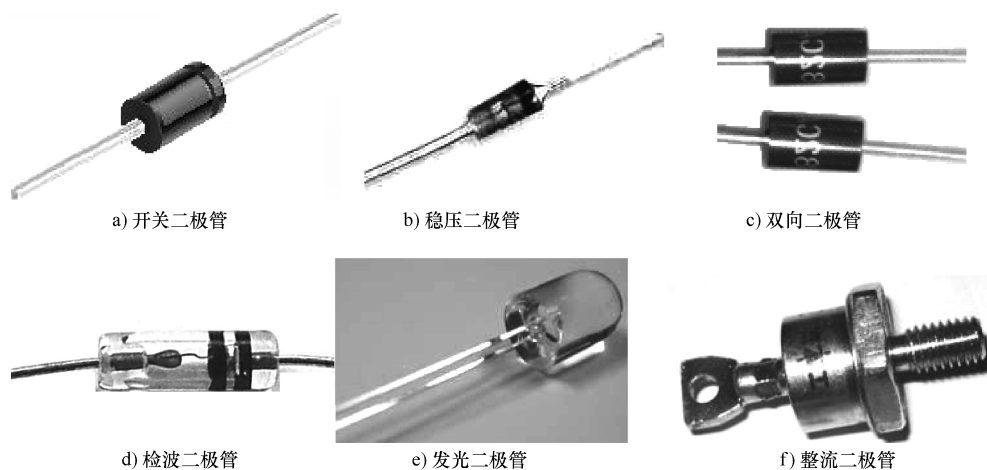
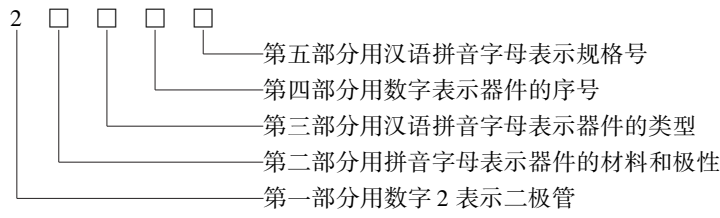


图 7-2 各种二极管

7.1.2 二极管的型号说明

国产二极管的型号由五部分组成：



二极管型号中第二、三部分常用字母所表示的意义见表 7-1。

表 7-1 二极管型号中第二、三部分常用字母的意义

第二部分		第三部分	
字母	含义	字母	含义
A	N 型锗材料	P	普通管
		W	稳压管
B	P 型锗材料	Z	整流管
		GD	光电(敏)二极管
C	N 型硅材料	S	隧道管
		K	开关管
D	P 型硅材料	C	变容管
		GL	激光二极管
E	化合物材料	GF	发光二极管
		GR	红外发射二极管

比如 2AP11 表示普通 N 型锗二极管，2CZ55D 表示硅整流二极管。

常用的国外二极管的型号一 1 开头。1N 开头的二极管是美国制造的，如 1N4001、1N5406、1N34 等；1S 开头的是日本制造的，如 1S34A、1S34 等。

7.1.3 二极管的简易测试

1. 二极管管脚的识别

晶体二极管两管脚有正、负极之分，如图 7-3 所示。二极管电路符号中，三角一端为正极，短杠一端为负极。二极管实物中，有的将电路符号印在二极管上标示出极性；有的

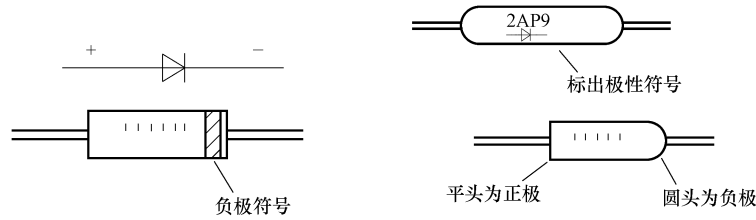


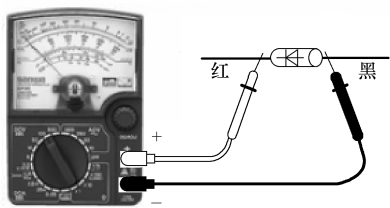
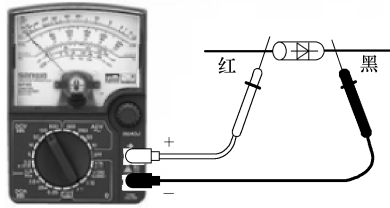
图 7-3 二极管管脚的识别

在二极管负极一端印上一道色环作为负极标记；有的二极管两端形状不同，平头为正极，圆头为负极，使用中应注意识别。

2. 二极管极性及性能的测试

根据二极管的单向导电性，可用万用表测量其正、反向电阻来判断其性能，测试时将万用表置于 $R \times 1k$ 或 $R \times 100$ 档，用万用表两表笔接二极管的两极，然后交换两表笔再次测量一次，根据测试的结果即可判断二极管的好坏。其测试方法见表 7-2。

表 7-2 二极管极性及性能的测试

测试项目	正向电阻	反向电阻
测试方法		
极性测试	由于指针式万用表的红表笔对应表内电池的负极，黑表笔对应表内电池的正极，用万用表两表笔正、反各测量二极管的正反向电阻。当测量的电阻小时（二极管导通），黑表笔所接一端为二极管的正极	
性能测试	如果正、反两次测量电阻相差不大，表示二极管性能变差；如果两次测量的电阻值都很大或表针在“ ∞ ”处不动，表明二极管已断路；如果两次测量的电阻值都很小或电阻值接近于零，表明二极管已短路	

7.1.4 二极管的应用

半导体二极管是最常用、最简单的电子元器件，它是整流、稳压等电子电路的主要组成部分。

1. 二极管的整流作用

图 7-4 所示为半波整流电路。它是利用二极管的单向导电性实现整流的。正半周时，二极管承受正向电压而导通，有电压输出；负半周时，二极管加反向电压而截至，无电压输出。这样交流电经二极管整流后就变为脉动直流电。

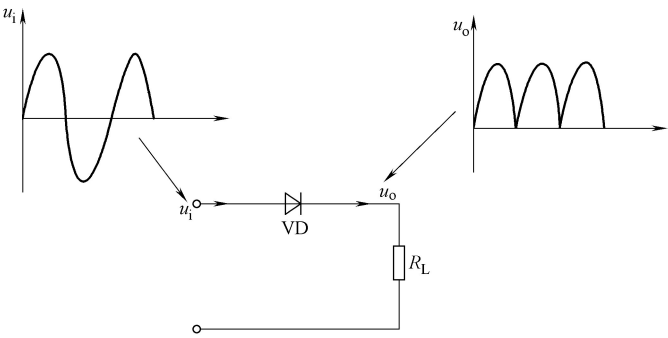


图 7-4 二极管的整流作用

2. 二极管限幅作用

在图 7-5 所示的电路中，输入信号 u_i 是幅值为 1.4V 的正弦交流电，二极管导通电压（管压降）为 0.7V，输出电压 u_o 的波形如下：

输入信号在正半周：当输入信号的幅值小于二极管的导通电压时，两只二极管都不导通，输出电压与输入电压一致；当输入信号的正半周电压大于二极管的导通电压时，二极管 VD_1 正向导通， VD_2 截止，二极管 VD_1 导通后，其管压降为 0.7V，使输出电压的最大值限制在 0.7V，所以正半周 0.7V 以上的波峰被切除。

负半周时，二极管 VD_1 反向截止， VD_2 正偏导通，由 VD_2 对负半周的输入信号进行限幅，使输出电压的最大值限制在 $-0.7V$ 。

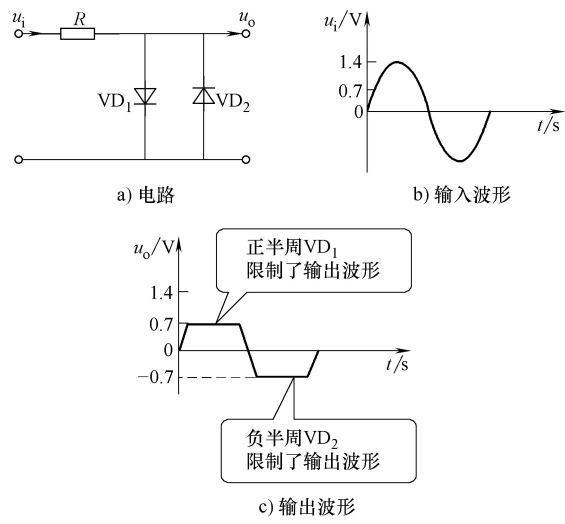


图 7-5 二极管限幅应用电路

3. 二极管的保护作用

在图 7-6 所示的电路中，KA 为电磁继电器线圈，VT 为驱动晶体管，线圈的两端并接的二极管 VD 就是起保护作用。因为继电器系安全为感性负载，在晶体管 VT 截止时，继电器线圈中电流突然变小，在晶体管 c、e 端会感应出自感电动势，可能将晶体管 VT 击穿。而加入二极管后，自感电动势电压使二极管导通，为自感电动势提供电流通路，所以

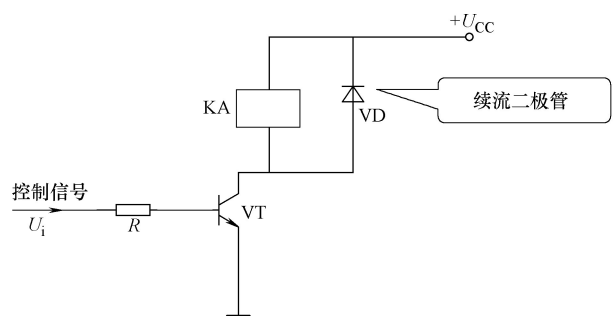


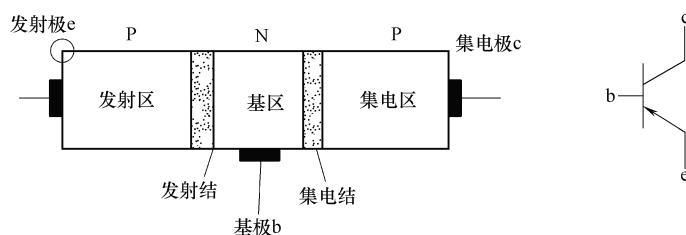
图 7-6 二极管的保护作用

又称为续流二极管。

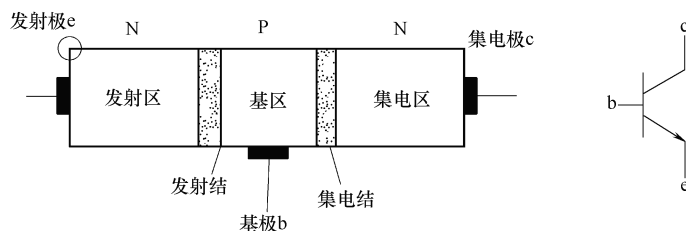
7.2 晶体管

晶体管是电子器件的基本元器件，是三端器件，其外形和图形符号如图 7-7 所示。晶体管的一端为基极 b，一端为集电极 c，另一端为发射极 e。晶体管最大的特点就是当基极 b 与发射极 e 间有电流流过时，集电极 c 与发射极 e 间就有电流流过，这就是晶体管的电流放大作用。正常情况下，be 和 bc 间相当于一只二极管，但 ce 间则有很大的电阻，相当于开关的断开；当 be 间有电流流过时，ce 间的电阻则会随电流的增加而减小，电流就容易流过，这就是前面说的电流放大作用；当电流达到饱和状态时，晶体管便没有了放大作用，这时 ce 间的电阻变为零，相当于开关的闭合。这就是晶体管的三种状态，把第一种状态定义为截止，第二种状态定义为放大，第三种状态定义为导通（或饱和）。与二极管比较，晶体管有更大的作用。按结构分有 NPN 和 PNP 两种。

正因为晶体管具有上述的特征，所以晶体管便能用来放大微弱的电信号，经过多级放



a) PNP型晶体管结构与图形符号



b) NPN型晶体管结构与图形符号



c) 各种晶体管外形

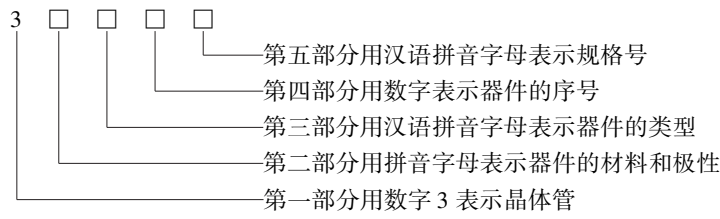
图 7-7 晶体管

大可以得到较大的功率；晶体管还可以用在开关电路里，“截止”相当于开关的断开，“导通”或“饱和”相当于开关的闭合，直接用在数字电路里。

晶体管的主要材料与二极管相同，当晶体管导通时，be 间的压降硅管为 0.7V，锗管为 0.2V。当管子截止时，ce 间的电流应越小越好，称这个电流为漏电流，常用来衡量晶体管的好坏，好的管子漏电流应为零。常用的低频小功率晶体管有 3AX□（锗管）、3BX□（锗管）、3DX□（硅管）；高频小功率晶体管有 3AG□（锗管）、3DG□（硅管）、3CG□（硅管）；低频大功率晶体管有 3AD□（锗管）、3DD□（硅管）；高频大功率晶体管有 3AA□（锗管）、3DA□（硅管）；开关晶体管有 3AK□（锗管）、3DK□（硅管）等。

7.2.1 晶体管的型号

国产晶体管的型号由五部分组成，各部分的含义如下：

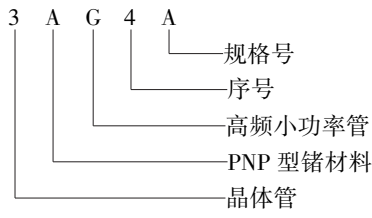


晶体管型号中第二、三部分常用字母所表示的意义见表 7-3 所示。

表 7-3 晶体管型号中第二、三部分常用字母所表示的意义

第二部分		第三部分	
符号	意义	符号	意义
A	PNP 型锗材料	X	低频小功率管
B	NPN 型锗材料	G	高频小功率管
C	PNP 型硅材料	D	低频大功率管
D	NPN 型硅材料	A	高频大功率管
E	化合物材料	U	光电(敏)器件
		K	开关管

例如：

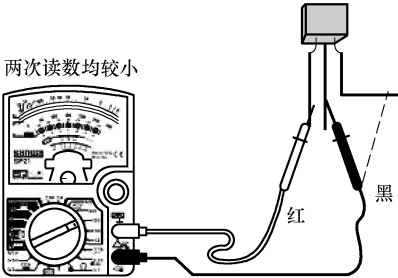
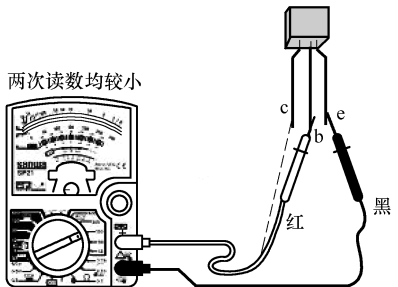
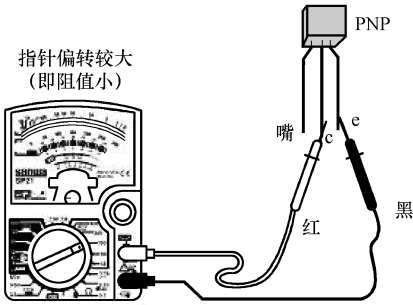


国外晶体管的型号以 2N 或 2S 开头，2N 开头的二极管是美国制造的，2S 开头的是日本制造的等，这一点与国产二极管型号一样，但区别是二极管只有两个引脚，晶体管一般有三个引脚。

7.2.2 晶体管的识别和简易测试

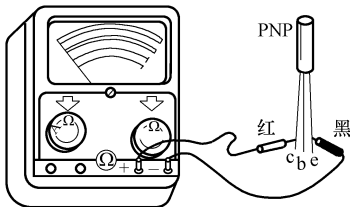
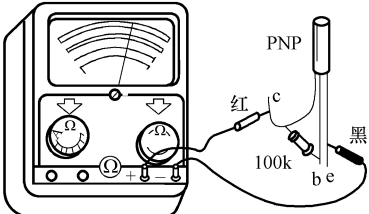
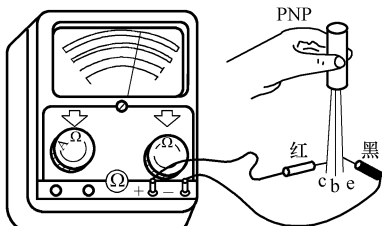
1) 晶体管一般可从外壳上的标注识别其极性,并查其器件手册即可,有的已画出管脚图,无标注时也可参照表 7-4 查出。

表 7-4 晶体管管脚和管型的判断

判断内容	方 法	说 明
第一步: 判断基极	PNP 型晶体管 	可以把晶体管看成两个二极管来分析。用万用表电阻档($R \times 100$ 或 $R \times 1k$),将红笔(正测试棒)接到某一管脚,黑笔(负测试棒)分别接另外两个管脚,测量两个阻值。当两个阻值均较小时,红笔所接管脚即为 PNP 管基极。若两阻值有的较大,可将红笔另接一管脚再试,直到两个阻值均较小为止
	NPN 型晶体管 	方法同上,但以黑笔为准,红笔分别接另外两管脚,测得两阻值均较小,即为 NPN 管的基极
第二步:判断 集电极		利用晶体管正向电流放大系数比反向电流放大系数大的原理确定集电极。将万用表两个测试笔接到管子的另外两个脚,用嘴含着基极,利用人体电阻实现偏置,测读万用表指针的偏转角(或阻值),再将两个测试笔对调同样测读,比较二次读数,对 PNP 管,偏转角大(阻值小)的一次中红笔所接的即为集电极;对 NPN 管,偏转角大(阻值小)的一次中黑笔所接即为集电极

2) 测试晶体管的性能时,一般可直接插入万用表晶体管放大倍数测试孔测量,也可按表 7-5 查出。

表 7-5 晶体管的简易比较

比较内容	方法	说明
穿透电流 I_{ce0}		用万用电表电阻档($R \times 100$ 或 $R \times 1k$)测集电极-发射极反向电阻,阻值越大,说明 I_{ce0} 越小,晶体管性能越稳定。一般硅管比锗管阻值大,高频管比低频管的阻值大,小功率管比大功率管的阻值大。对低频小功率锗管约在几十千欧以上
共发射极电流放大系数 β		如果再在基极、集电极间接入 $100k\Omega$ 电阻,集电极-发射极反向电阻便减少,万用表指针偏转。偏转角度越大,说明 β 越大
晶体管稳定性能		在判断 I_{ce0} 同时,用手捏住管子,受人体体温影响,管子集电极、发射极反向电阻将有所减小,但如果发现指针摇摆较大或阻值迅速减少,则管子稳定性较差

7.3 晶 闸 管

晶闸管是晶体闸流管的简称,原称可控硅整流器(见图 7-8),是三端器件,具有二极管和晶体管的双重性能,也就是说晶闸管具有单向导电性并且流过的电流大小可以控制。管子的一端为输入极(阳极 A),一端为输出极(阴极 K),另一端为门极(控制极 G)。晶闸管导通的条件是,当阳极加正向电压、阴极加负向电压时,门极加一定电压的正向电流,管子即导通;其关断的条件是降低阳极电压或使其为零。门极只能控制其导通,而不能控制其关断。但近几年来,已经制造出控制极可以控制管子导通及关断的晶闸管。

由于晶闸管的工作过程可以控制,被广泛应用于可控整流、交流调压、无触点电子开关、逆变及变频等电子电路中。

7.3.1 晶闸管的主要工作参数

1) 额定正向平均电流:指环境温度 $+40^{\circ}\text{C}$ 、标准散热及器件正常导通条件下,器件可连续通过的工频正弦半波电流的平均值,即额定电流。

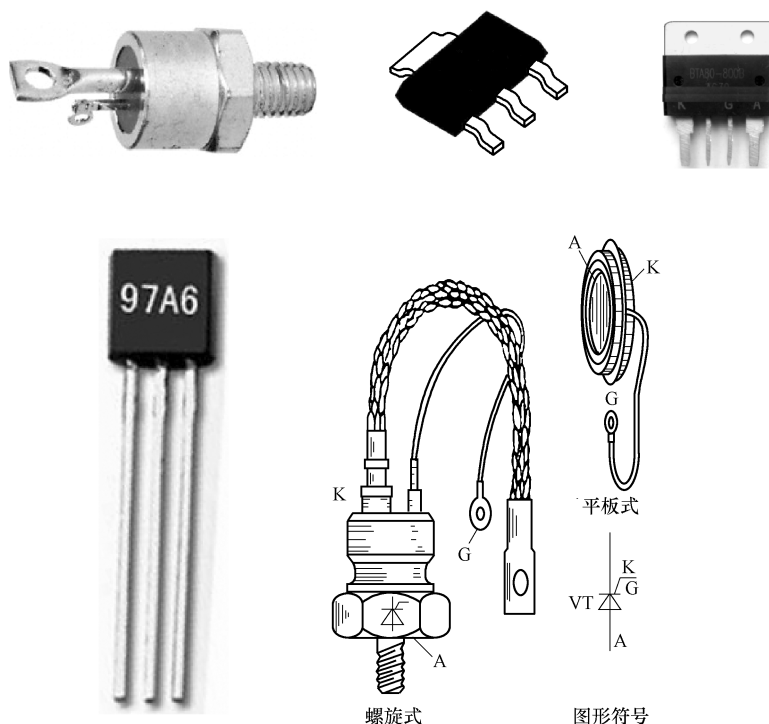


图 7-8 晶闸管外形及其图形符号

2) 正向阻断峰值电压：指门极开路时，可重复加在晶闸管上的正向峰值电压，一般为正向转折电压的 80%。

3) 反向阻断峰值电压：指门极开路时，可重复加在晶闸管上的反向峰值电压，一般为反向击穿电压的 80%。

4) 维持电流：指保持晶闸管处于导通状态所必须保持的最小正向电流。

5) 触发电流：指晶闸管加一定的正向电压 6V 时，管子完全导通所必需的最小门极正向直流电流。

6) 触发电压：对应于触发电流的门极上所加的正向直流电压。

其中，正向转折电压是指门极无信号时，在晶闸管上所加的正向电压达到定值时，由关断突变为导通时的电压；反向击穿电压是指管子加反向电压时，当电压大到定值时管子被击穿时的电压。

7.3.2 晶闸管的应用

晶闸管具有以小电流（电压）控制大电流（电压）的作用，并具有体积小、重量轻、功耗低、效率高、开关速度快等优点，在无触点开关、可控整流、逆变、调光、调压、调速等方面得到广泛的应用。

1. 可控整流

晶体闸流管可以用作可控整流，电路如图 7-9 所示。只有当控制极有正触发脉冲时，

晶闸管 VS_1 、 VS_2 才导通进行整流，而每当交流电压过零时晶闸管关断。改变触发脉冲在交流电每半周内出现的迟早，即可改变晶闸管的导通角，从而改变了输出到负载的直流电压的大小。

2. 无触点开关

晶闸管可以用作无触点开关，如图 7-10 所示报警器电路中，晶闸管 VS 为无触点开关。当探头检测到一场情况时，输出一正脉冲至控制极 G ，晶闸管 VS 导通使报警器报警，直至有关人员到场并切断开关 S 才停止报警。

双向晶闸管可以用作无触点交流开关。图 7-11 所示为交流固态继电器电路，当其输入端加上控制电压时，双向晶闸管 VS 导通，接通输出端交流电路。

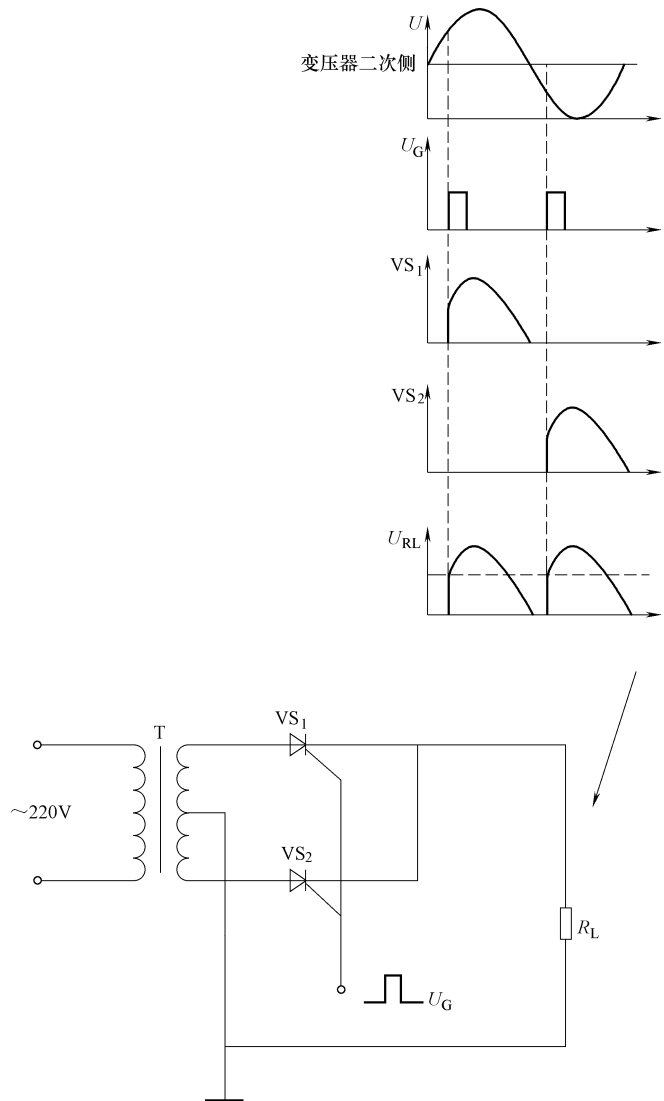


图 7-9 晶闸管的可控整流电路

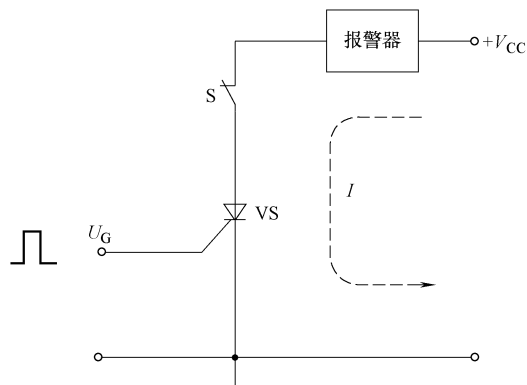


图 7-10 晶闸管控制的报警器线路

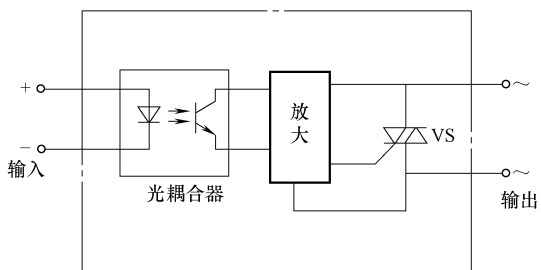


图 7-11 双向晶闸管控制的交流固态继电器电路

3. 交流调压器

双向晶闸管可以用作交流调压器。图 7-12 所示电路中， RP 、 R 和 C 组成充放电回路， C 上电压作为双向晶闸管 VS 的触发电压。调节 RP 可改变 C 的充电时间，也就改变了 VS 的导通角，达到交流调压的目的。

4. 直流逆变电路

可关断晶闸管可以很方便地构成直流逆变电路，如图 7-13 所示。两个可关断晶闸管 VS_1 、 VS_2 的控制极触发电压

U_{G1} 、 U_{G2} 为频率相同、极性相反的正、负脉冲，使得 VS_1 与 VS_2 轮流导通，在变压器二次侧即可得到频率与 U_G 相同的交流电压。

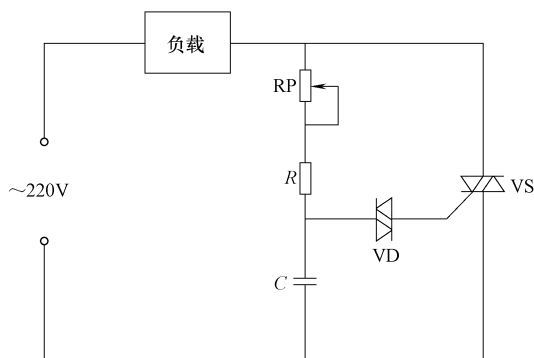


图 7-12 双向晶闸管的交流调压电路

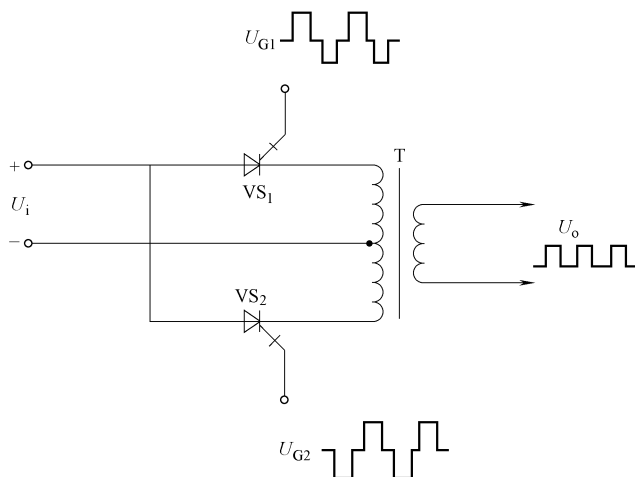


图 7-13 可关断晶闸管的直流逆变电路

7.3.3 晶闸管的简易测试

1. 单向晶闸管的检测

把万用表置于“ $R \times 10$ ”档，黑表笔（表内电池正极）接控制极 G，红表笔接阴极 K，如图 7-14 所示，这时测量的是 PN 结的正向电阻，应有较小的阻值。对调两表笔测其反向电阻，应比正向电阻明显大一些。黑表笔仍接控制极 G，红表笔改接至阳极 A，阻值应为无穷大。对调两表笔再测应仍为无穷大。这是因为 G、A 间为两个 PN 结反向串联，正常情况下正、反向电阻均为无穷大。

单向晶闸管导通特性的检测：如图 7-15 所示，把万用表置于“ $R \times 1$ ”档，黑笔接阳极 A，红笔接阴极 K，表针指示应为无穷大。用螺钉旋具（螺丝刀）等金属物将控制极 G 与阳极 A 短接一下（短接后立即断开），表针应向右偏转并保持在几十欧姆处，否则说明该晶闸管已经损坏了。

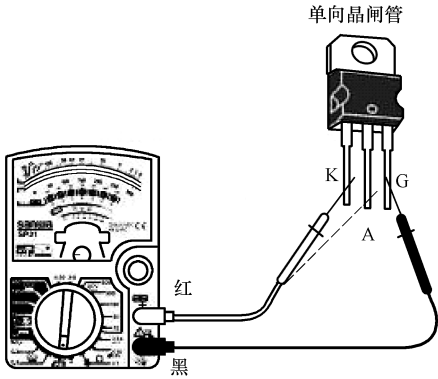


图 7-14 单向晶闸管的检测

2. 双向晶闸管的检测

如图 7-16 所示把万用表置于“ $R \times 1$ ”档，两表笔测量控制极 G 与主电极 T1 间的正、反向电阻，均应为较小阻值。再用两表笔测量控制极 G 与主电极 T2 间的正、反向电阻，均应为“无穷大”。

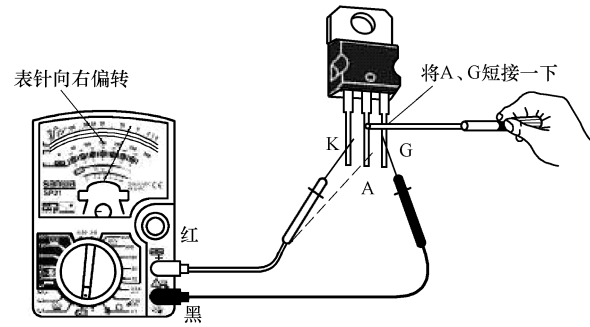


图 7-15 晶闸管的导通性检测

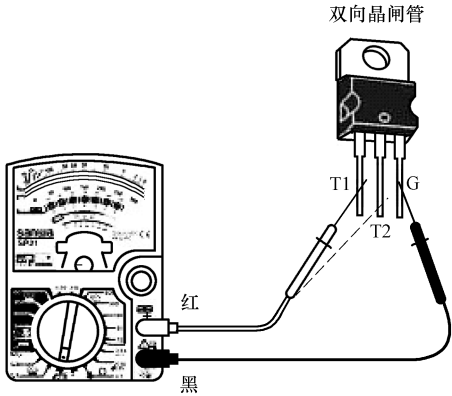


图 7-16 双向晶闸管的检测

双向晶闸管的导通性检测：万用表黑表笔接主电极 T1，红笔接主电极 T2，表针指示应为无穷大。将控制极 G 与主电极 T2 短接一下，表针应向右偏转并保持在几十欧姆处，如图 7-17 所示，否则说明该双向晶闸管已经损坏。

3. 可关断晶闸管的检测

万用表置于“ $R \times 1$ ”档，黑表笔接阳极 A，红表笔接阴极 K，表针指示应为无穷大。

用一节 1.5V 电池串联一只 1000Ω 左右的限流电阻作为控制电压，其一端接在阴极 K 上，如图 7-18 所示。当用电池正极触碰一下控制极 G 后，表针应右偏指示晶闸管导通。当调换电池极性用电池负极触碰一下控制极 G 后，表针应返回无穷大指示晶闸管关断，否则说明该可关断晶闸管已损坏。

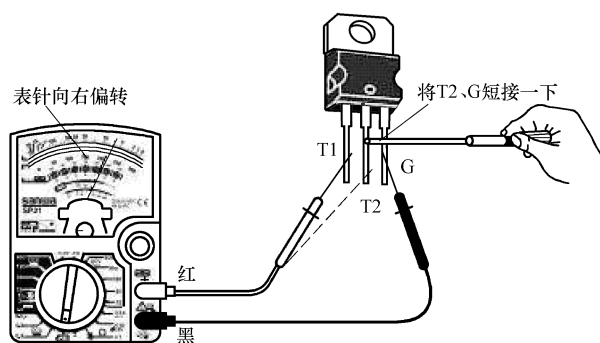


图 7-17 双向晶闸管的导通性检测

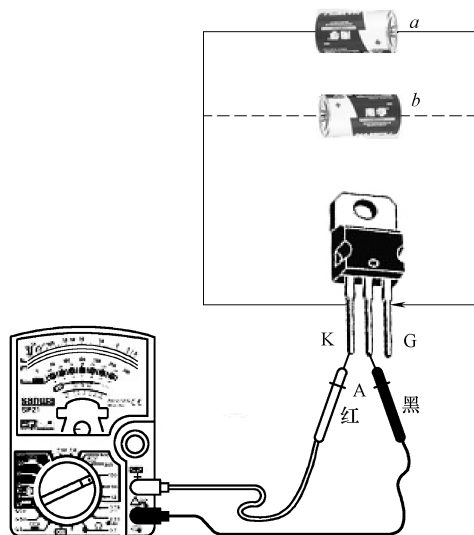


图 7-18 可关断晶闸管的检查

7.4 光耦合器

光耦合器简称光耦，其内部由发光器件和受光器件组成，发光器件一般是发光二极管、光敏晶体管、光敏场效应晶体管、光控晶体管、光敏电阻器等，连接发光器件的称为输入端，连接受光器件的称为输出端。如图 7-19 所示是光耦合器的外形，如图 7-20 所示为光耦合器的电路图形符号。

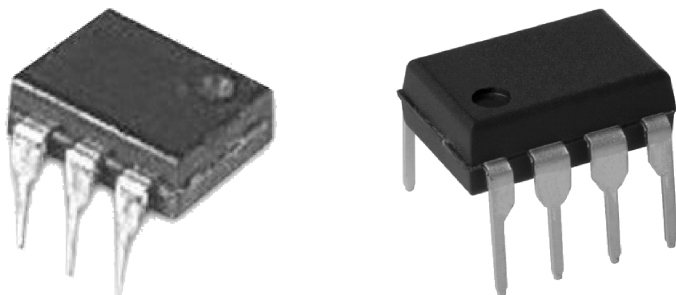


图 7-19 光耦合器外形图

7.4.1 光耦合器的特点及作用

1) 光耦合器是实现从电能→光能→电能转换的半导体器件，由于发光器件和光敏器

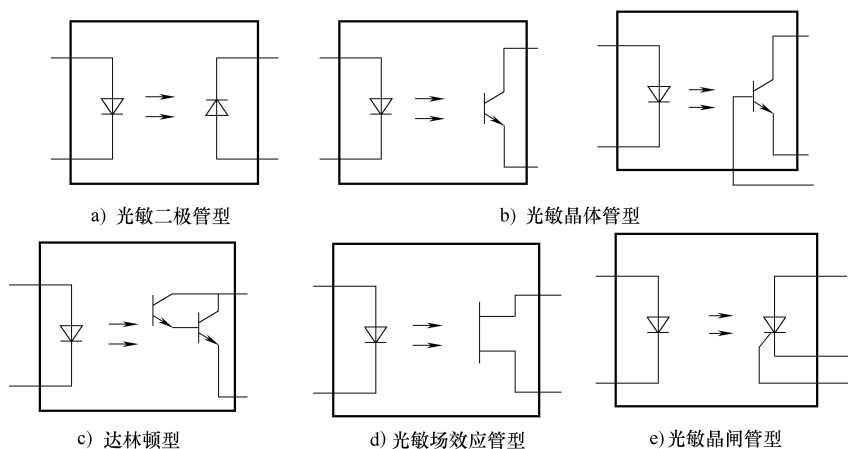


图 7-20 光耦合器的电路图形符号

件被相互绝缘地分置于输入和输出回路，前后级之间通过光来传输，所以输入输出之间绝缘电阻高，可以实现前后级电路的电气隔离。

2) 光耦合器作耦合器件，用于传输交、直流信号，它具有耦合电容小、响应速度快、工作频率范围宽、耗能少，并能实现信号的单方向传递。

3) 光耦合器也可作为开关器件使用，做开关器件时，它的开关速度比继电器快，且无接触振动、无电气噪声，寿命长。所以光耦合器在自动控制、测量、输入与输出信号回路的隔离等电路中都有广泛应用。

7.4.2 光耦合器的检测

由于光耦合器中发光二极管与光敏器件是相互独立的两部分，因此可以分别检测。

1. 检测输入部分

图 7-21 所示，用万用表 $R \times 1k$ 或 $R \times 100$ 档（因光耦合器中的发光二极管的正向管压降较普通发光管低，约为 1.3V），测量光耦合器输入端的正、反向电阻，正常时其正向电阻为 $1.5 \sim 2k\Omega$ ，反向电阻为无穷大。如果正、反向电阻接近，说明发光二极管性能欠佳或已损坏。

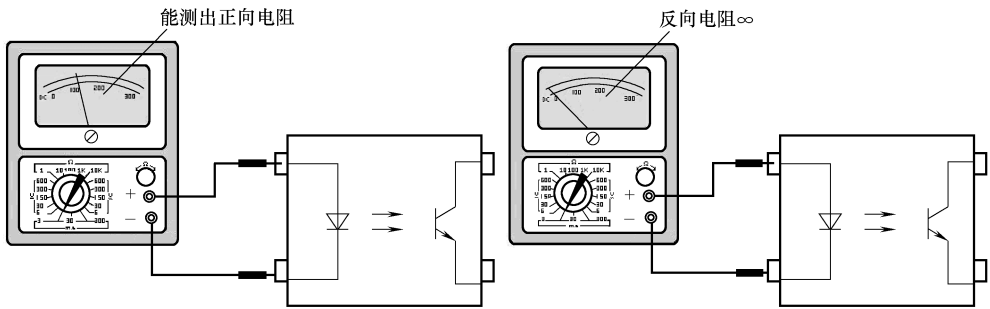


图 7-21 光耦合器输入部分的检测

2. 检测输出部分

图 7-22 所示，在输入端悬空时，用万用表 $R \times 1k$ 或 $R \times 100$ 档测其输出端的正、反向电阻，正常时均应接近无穷大。

3. 测量光耦合器的电流传输能力

如果有两块万用表，如图 7-23a 所示，先将其中的一只万用表接在光耦合器的输出端，黑表笔接集电极，红表笔接发射极，此时光敏晶体管的正向电阻应为无穷大。

用另一块万用表测光耦合器输入端的正向电阻，使其内部的发光二极管导通，这时可以看到输出端所接万用表的表针从无穷大处向右偏转，偏转角度大，说明光耦合器的电流传输能力强。当去掉输入端的万用表时，输出端万用表的表针又返回至无穷大。

如果用一块万用表，可按图 7-23b 所示，先接输出端的万用表，当输入端与电池、 100Ω 左右的电阻串联时，表针会右偏。

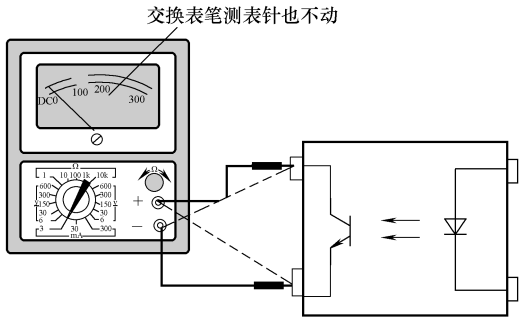
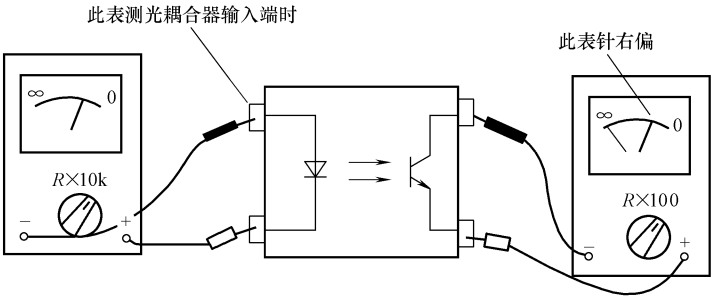
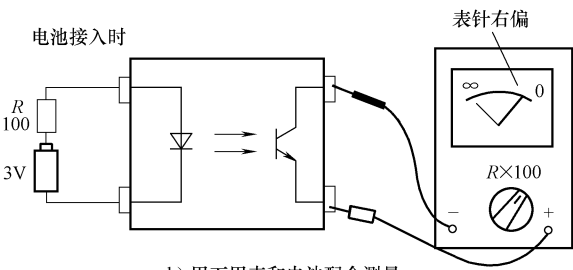


图 7-22 检测输出部分



a) 用两块万用表测量



b) 用万用表和电池配合测量

图 7-23 测量光耦合器的传输能力

7.5 数 码 管

数码管是一种半导体发光器件，其基本单元是发光二极管。数码管常用来显示数字，

它由 a、b、c、d、e、f、g 七段数字组成，h 表示小数点，有共阴极（阴极接电源的负极）和共阳极（阳极接电源的正极）之分，如图 7-24 所示。

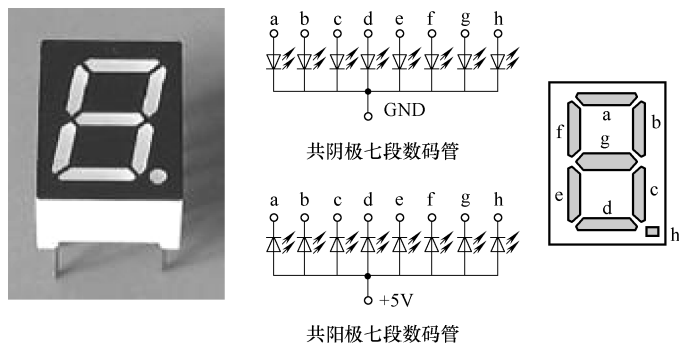


图 7-24 数码管的引脚排列方式

7.5.1 用万用表检测数码管的方法

1. 用数字万用表检测

(1) **判断共阴与共阳** 将数字万用表置于二极管档或通断档，将黑表笔（表内电池的负极）接公共端，红表笔接其余任一引脚，若数码管亮，表明被测数码管是共阴的，否则可将两表笔交换，若数码管亮，则表明数码管为共阳的。

(2) **判断数码管的好坏** 知道了数码管是共阴、共阳后，若为共阴管，可将数字万用表的黑表笔接其公共端，红表笔依次点触其余引脚，若引脚排列各段分别显示出所对应的数码笔画，表明数码管是好的；若发光较暗，表明数码管发光效率低或已老化；若某段不亮，则表明数码管已局部损坏。

2. 用指针万用表检测

将万用表置于 $R \times 10k$ 档（ $R \times 10k$ 档所用工作电池为 9V，其他档的工作电池为 1.5V，而数码管的工作电压高于 1.5V，所以只能用 $R \times 10k$ 检测数码管），其判断方法同数字万用表相似。但由于指针式万用表与数字万用表的内部结构不同，测量时，数码管发光效率低些。又由于指针式万用表的红表笔与表内电池的负极相连，所以如果红表笔接公共端时，黑表笔依次接触其余引脚，若数码管亮，表明所测数码管是共阴的，这一点与用数字万用表测量时是不同的。

7.5.2 用干电池检测数码管的方法

图 7-25a 所示，将 3V 干电池的正极引线固定接在数码管的公共阳极上，干电池的负极引线依次接触各笔画，接触到某一笔画时该笔画就点亮，否则，说明数码管损坏。若检测共阴数码管，应将电池的正、负极引出线对调一下，如图 7-25b 所示。

注意：每段数码管的工作电流为 5 ~ 10mA，所以不允许用电池直接检查数码管（所以需加限流电阻 $R = 150\Omega$ 左右）。

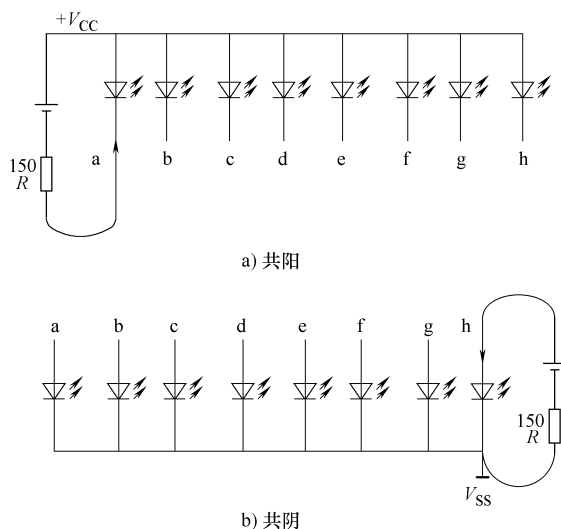


图 7-25 用于干电池检测数码管

7.6 逻辑门电路

逻辑门电路是指能够实现各种基本逻辑关系的开关电路，它的输出端与输入端之间的关系不是放大关系，而是一种逻辑关系。当输入端满足一定条件时，门电路便允许信号通过，否则就不允许信号通过。

在逻辑电路中，常用高、低电平（只有这两种电平）表示其逻辑关系，高电平（3 ~ 5V）用“1”表示，低电平（0 ~ 0.4V）用“0”表示。它可以具有一个或多个输入端，而输出端则只有一个。

基本的门电路包括与门、或门、非门。另外还常由基本逻辑门电路组成多种复合逻辑门，如与非门、或非门等。

7.6.1 与门电路

图 7-26 所示为与门电路及其电路符号，从图中可以看出：

1) 当 $V_A = V_B = 0V$ 。此时二极管 VD_1 和 VD_2 都导通，由于二极管正向导通时的钳位作用， $V_L \approx 0V$ 。

2) 当 $V_A = 0V$ ， $V_B = 5V$ 。此时二极管 VD_1 导通，由于钳位作用， $V_L \approx 0V$ ， VD_2 受反向电压而截止。

3) 当 $V_A = 5V$ ， $V_B = 0V$ 。此时 VD_2 导通， $V_L \approx 0V$ ， VD_1 受反向电压而截止。

4) 当 $V_A = V_B = 5V$ 。此时二极管 VD_1 和 VD_2 都截止， $V_L = V_{CC} = 5V$ 。

如果采用正逻辑体制，很容易看出它实现逻辑运算：

$$L = A \cdot B$$

与门有两个输入端时为二输入与门，有 3 个输入端时为三输入与门。只有当所有端均

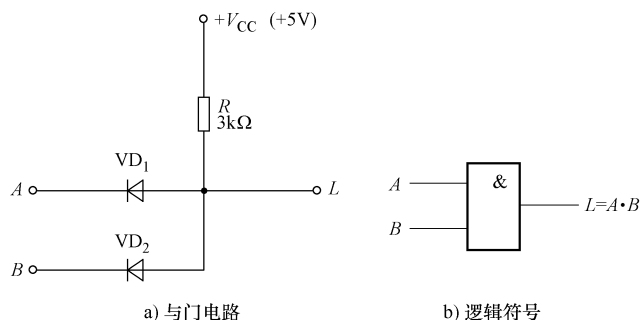


图 7-26 与门电路及其电路符号

为高电平“1”时，输出端 L 才为高电平“1”，否则输出端变为低电平“0”。

7.6.2 或门电路

如图 7-27 所示为或门电路及其电路符号，从图中可以看出：

1) 当 $V_A = V_B = 0V$ 时，此时二极管 VD_1 和 VD_2 都处于截止状态， $V_L \approx 0V$ 。

2) 当 $V_A = 5V$ ， $V_B = 0V$ 时， VD_1 导通， V_L 为高电压， VD_2 受反向电压作用而截止，这时 $V_L = 5V$ 。

因此 A 、 B 中只要有一个为 $5V$ ， L 就是 $5V$ ，这就是或逻辑关系，即 $L = A + B$ 。

或门电路中，只要输入端 A 、 B 中有一个为高电平“1”，输出端就为高电平“1”，只有所有输入端均为低电平“0”时， L 才为“0”。即有“1”出“1”，全“0”出“0”。

同样，可用增加输入端和二极管的方法，构成更多输入端的或门电路。

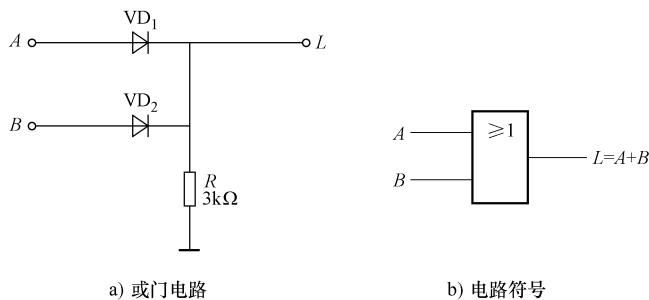


图 7-27 或门电路及其电路符号

7.6.3 非门电路

图 7-28 所示为非门电路及其电路符号，从图中可以看出：

1) 当 $V_A = 0V$ 。此时晶体管的发射结电压小于死区电压，满足截止条件，所以管子截止， $V_L = V_{CC} = 5V$ 。

2) 当 $V_A = 5V$ 。此时晶体管的发射结正偏，管子导通，只要合理选择电路参数，使其满足饱和条件 $I_B > I_{BS}$ ，则管子工作于饱和状态，有 $V_L \approx 0V(0.3V)$ 。

因此，非门电路的逻辑表达式为 $L = \overline{A}$

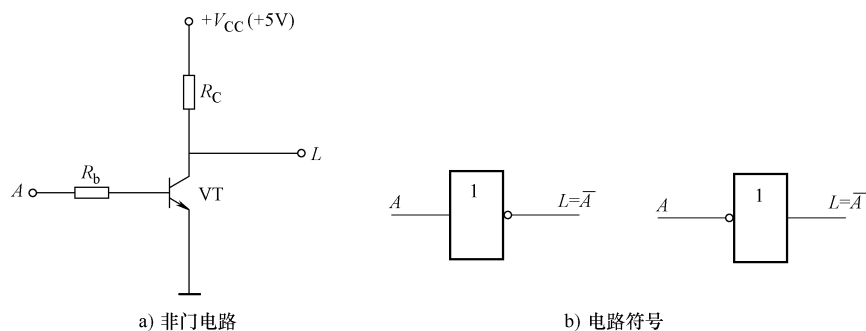


图 7-28 非门电路及其电路符号

7.6.4 与非门电路

与非门电路符号如图 7-29 所示。其逻辑表达式为 $Y = \overline{AB}$ ，与非门相当于在与门后串联非门，即输入信号经过与门后再经过非门，所以说只有当 A 、 B 均为“1”时，输出端才为“0”，否则 Y 为“1”，即有“0”出“1”，全“1”为“0”。

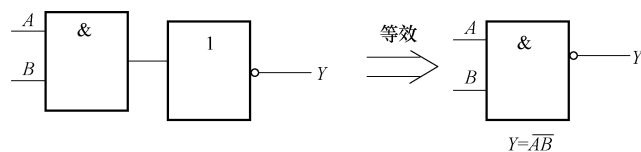


图 7-29 与非门电路符号

7.6.5 或非门电路

或非门的电路符号如图 7-30 所示。其逻辑关系为 $Y = \overline{A + B}$ ，或非门相当于在或门后串联非门，即输入信号经过或门后再经过非门，所以只有 A 、 B 中任一个为“1”时，输出端即为“0”，所有输入端均为“0”， Y 才为“1”，即有“1”出“0”，全“0”为“1”。

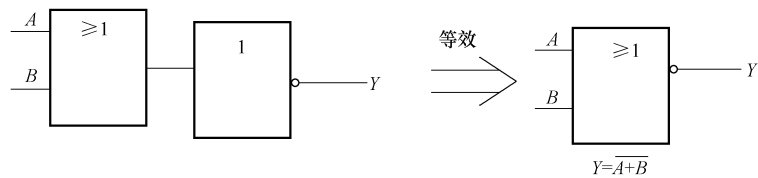


图 7-30 或非门电路符号

电气故障维修技术

8.1 电气故障的查找方法及步骤

8.1.1 根据故障现象进行合理剖析

电气故障现象往往是多种多样的，有的电气故障虽然表现的现象不同，但是故障原因却相同，有的故障表现的现象虽然相同，但是故障原因却不同，这就需要透过表面看本质，深入了解故障现象的表现形式，利用各种电气故障的基本依据，最终查找出故障原因，并彻底解决故障。

举个例子：某车间电动机不能运转。当知道这一故障现象时，就应首先询问下列情况：

- 1) 电动机是否安装后第一次使用就不能运转？
- 2) 电动机已经工作很长时间，在此之前一直运行正常？
- 3) 电动机是否经过大修或保养后不能再运转了？
- 4) 电动机电源是否更换过？
- 5) 电动机控制线电是否改装过或更换过？整改后的电路是否是第一次使用？
- 6) 电动机的控制开关是否更换过？是否更换开关后第一次使用？
- 7) 是否是电动机起动后突然不能运转的？
- 8) 是否是电动机已经起动后逐渐降低转速并慢慢停止运转的？
- 9) 周围的工作环境是否改变过？
- 10) 操作人员是否是第一次操作？

从以上不同的问题可以看到，导致电动机不能运转这一故障的原因很多，但只要找到了导致这一故障的外在诱因，并进一步排查，相信很快就能找到故障原因了。

所以说透过故障现象剖析故障原因是排查故障的重要环节。如果不能深入了解故障现象，那么很可能事倍功半。

8.1.2 电气故障原因的合理推理

根据故障现象分析推理故障原因，是查找排除故障的根本目的。推理故障原因除了要有根据当时的故障现象外，还必须要有一定的电工基本理论知识，了解电气装置的构造、原理、性能等知识。往往导致某一电气故障的原因是很多的，关键在于能在诸多原因中找

到根本原因，并最终排除故障。

1. 根据电气设备的状态推理故障原因

一般来说，电气装置的运行过程总可以分解成若干个连续的阶段，这些阶段就是电气设备的运行状态，比如电动机的工作过程可以分解为起动、运转、正转、反转、高速、低速、制动、停止等工作状态，电气故障总是发生于某一状态，而在这一状态中，各种电气元件又处于什么状态，这正是分析故障的重要依据。举个例子，电动机起动时出现了故障，那么在起动时会有哪些元件工作，哪些触头闭合等，因而查找电动机起动故障时只要注意这些元件的工作状态就可以了。

2. 根据电气设备的电路图分析故障原因

电气图是用以描述电气装置的构成、原理、功能，提供装接和使用维修信息的依据。分析电气故障必然要使用各类电气图，根据故障情况，从图形上进行分析，这就是根据电气设备的电路分析故障的方法。

电路图种类很多，如原理图、结构图、系统图、接线图、位置图等。分析电气故障时，常常要对各种图进行分析，并且要掌握各种图之间的关系，如由接线图变换成电路图，由位置图变换成原理图等。

3. 分解电气设备剖析故障原因

电气装置一般是由各个单元构成的，分解电气设备，将每一个单元具有的特定功能逐一剖析，往往会发现故障原因并排除。

4. 分解回路剖析故障原因

电路中任意闭合的路径称为回路。回路是构成电路的基本单元，分析电气故障，尤其是分析电路短路、断路故障，常常需要找出回路中元件、导线及其连接，以此确定故障的原因和部位，往往会事半功倍。

5. 逻辑剖析故障原因

电气装置中各组成和功能都有其内在的联系，比如连接顺序、动作顺序、电流流向、电压分配等，都有其一定的逻辑规律，所以某一部件、组件、元件的故障必然影响其他部分。

6. 简化电气设备剖析故障原因

电气装置的组成部件、元件，虽然都是必需的，但从不同的角度去分析，总可以划分成主要部分和次要部分，剖析电气故障就要根据具体情况，注重分析主要的、核心的、本质的部件，这样简化后，就更容易查出故障原因，并最终解决。

比如，荧光灯的并联电容器，主要用于提高荧光灯负载的功率因数，它对荧光灯的工作状态影响不大，如果分析荧光灯电路故障，就可将电容器简化掉，然后再进行故障分析。

8.1.3 电气故障部位的正确定位

确定电气故障部位也就是确定电气装置的故障点，是最终解决故障的关键，比如找到短路点、损坏元件等。

确定电气故障部位是对故障现象进行周密的考察和细致分析的基础上得出的。现在我

们总结了几种方法供读者参考：

1. 直接感知

有些电气故障可以通过人的感官，手、眼、鼻、耳等器官，采用摸、看、闻、听等手段，直接感知故障设备异常的温升、振动、气味、响声等，确定设备的故障部位。

2. 仪器检测

许多电气故障靠人的直接感知是无法确定部位的，需要借助各种仪器、仪表，对故障设备的电压、电流、功率、频率、阻抗、绝缘值、温度、振幅、转速等进行测量，以确定故障部位。例如，通过测量绝缘电阻、吸收比、介质损耗，判定设备绝缘是否受潮；通过直流电阻的测量，确定长距离线路的短路点、接地点等。

3. 类比法

有些情况，可采用与同类完好设备进行比较来确定故障原因，比如一个线圈是否存在匝间短路，可通过测量线圈的直流电阻来判定，但直流电阻多大才是完好的却无法判别，这时可以与一个同类型且完好的线圈的直流电阻值进行比较来判别。

4. 试探法

在确保设备安全的情况下，可以通过一些试探的方法确定故障部位。例如通电试探或强行使其某继电器动作等，以发现和确定故障的部位。

8.2 常见电源故障的检修

电源一旦出现故障，整个电路系统就不能运转了，甚至会造成设备损坏，因此查找诊断电源故障是非常重要的。

8.2.1 电源故障的查找方法

查找电源故障，要根据电源种类和特性，从故障现象入手，按从易到难的程序进行。图 8-1 所示是查找电源故障的一般程序和方法。

8.2.2 单相电源故障的检修

单相电源故障主要表现在相线和中性线接错（接反）上，虽然有些时候相线和中性线接错不会影响设备的正常运行，但会严重影响人们的安全用电，造成触电事故的发生。

查找单相电源的相线和中性线错接故障，首先要判别这种故障，其次要正

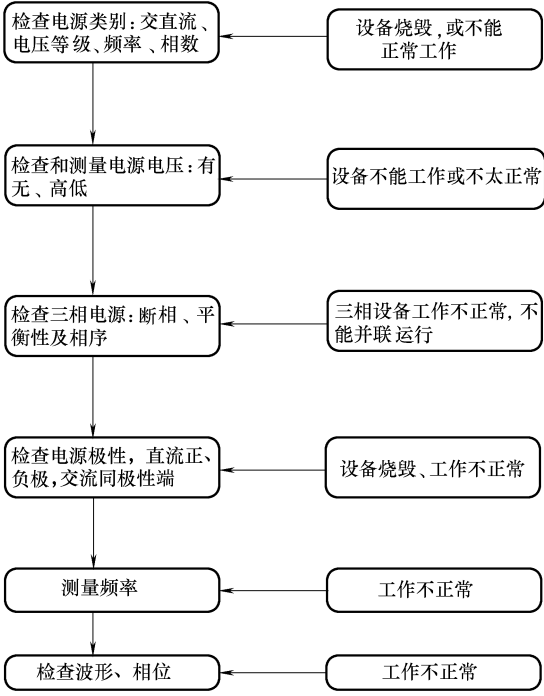


图 8-1 查找电源故障的一般程序和方法

确地找出相线和中性线。

1. 错接故障的判别

我们总结了几种单相电源错接故障的现象，通常出现下列故障现象就可以判断为单相电源的相线和中性线接错了。

- 1) 已经接地或接零的电气设备金属外壳有带电现象，可能是金属外壳接到相线上。
- 2) 断开开关以后，电器两接线端子仍有电（确切地说，仍有高电压），那么可以断定相线和中性线接错了。

2. 相线和中性线的识别方法

查找相线和中性线错接故障，必须正确地识别相线和中性线。识别的方法很多，大致可归纳为两大类：一是带电识别法，如用测电笔、万用表测量等；一种是不带电识别法，主要是根据有关颜色、数字、符号标记等来识别

(1) 用测电笔识别的方法 在带电情况下，用测电笔识别相线和中性线是最简单的方法，就是测电笔发亮的为相线，不亮的是中性线。

(2) 用万用表识别的方法

1) 电压法：可以通过测量对地电压判别相线和中性线。首先选择一个接地良好的接地端，如接地线、金属自来水管等。然后用万用表的电压档测量，一端接电源线，一端接地，由于三相四线系统中，零线通常是接地的，因而电压档指示接近为零者，所测的那根电源线便是零线，有电压指示的则为相线。

2) 直接测量的方法：将万用表拨到交流 750V 档，第一支笔接电源的任一端，第二支笔接大地。如果接地良好，就会指示 220V 电压值，那么可以判定第一支笔接的是电源的相线。若无数值显示或很小，则说明第一支笔测的就是中性线了。

(3) 不带电识别的方法 在不带电情况下，主要根据有关规程、规范的规定判定判别相线和零线。但这种判别只能作为参考。

- 1) 根据导线的颜色判别，见表 8-1。

表 8-1 相线和中性线的颜色标识

序号	类 别	颜 色 标 识	线 别	备 注
1	一般用途导线	红色	相线	L3 (C)
		黄色	相线	L2 (B)
		绿色	相线	L1 (A)
		浅蓝色	中性线	N
2	保护接地中性线	绿-黄组合色	保护接地线中性线	颜色组合 3:7
3	多芯电缆			
	二芯	红色	相线	
		浅蓝色	中性线	
	三芯	红、黄、绿色	相线	
	四芯	红、黄、绿色	相线	
		浅蓝色	中性线	

- 2) 根据导线的符号标记识别：根据国家规程对相线、中性线、接地线等的符号标记

要求，根据这些符号标记就可以轻松识别相线和中性线了，表 8-2 列出了相线、中性线及其他有关的特性导线符号标记。

表 8-2 相线和中性线及其他导线的符号标记

序号	导线名称	标记符号	备注
1	交流系统电源线：		
	1 相	L1	
	2 相	L2	
	3 相	L3	
2	中性线	N	
	交流系统设备端线：		
	1 相	U	
	2 相	V	
3	3 相	W	
	中性线	N	旧符号标记为 a、b、c、o 或 A、B、C、O
	直流系统电源线：		
	正	+	
4	负	-	
	中间线	M	
	保护接地线	PE	
	不接地保护线	PU	
5	保护接地线和中性线共用一线	PEN	
6	接地线	E	
7	无噪声接地线	TE	
8	与机壳、机架相接	MM	
9	等电位线	CC	
10			

3) 根据导线数字标志判别：多芯电缆线芯采用数字标志，应符合以下标志：

二芯电缆——0，1

三芯电缆——1，2，3

四芯电缆——0，1，2，3

其中，数字标志 1、2、3 为相线，数字标志 0 为零线或中性线。

8.2.3 三相电源故障的检修

正常的三相电源应该是三个线电压、三个相电压相等，相互之间互差 120°相位角，且电压达到最大值的先后顺序符合一定的规定。这样的三相电源称为对称三相电源。如因某种原因，破坏了这种对称关系，因而影响到三相电路和三相设备的正常运行，就属于三相电源故障。

1. 相序故障的诊断

在三相系统中，许多情况对电源相序都有严格的要求，如果相序接错，很可能会出现严重的电气设备故障。比如导致三相电动机反转、水泵不能抽水、工作机械不能起动甚至会导致变压器产生巨大的冲击环流，对电网和发电机产生巨大的破坏作用等。

诊断三相相序故障，最主要的是检查、测定三相电源的相序。

(1) 相序的一般判别

- 1) 颜色标志：三相系统中的母线、开关引线及电缆头出线等的颜色标志见表 8-1。即 L1、L2、L3 或 U、V、W，规定的颜色依次为黄、绿、红，中性线为浅蓝色。
- 2) 变压器引出线端子的相序标志（见图 8-2a）。
- 3) 电动机引入线端子的相序标志（见图 8-2b）。
- 4) 线路的相序规定（见图 8-2c）。

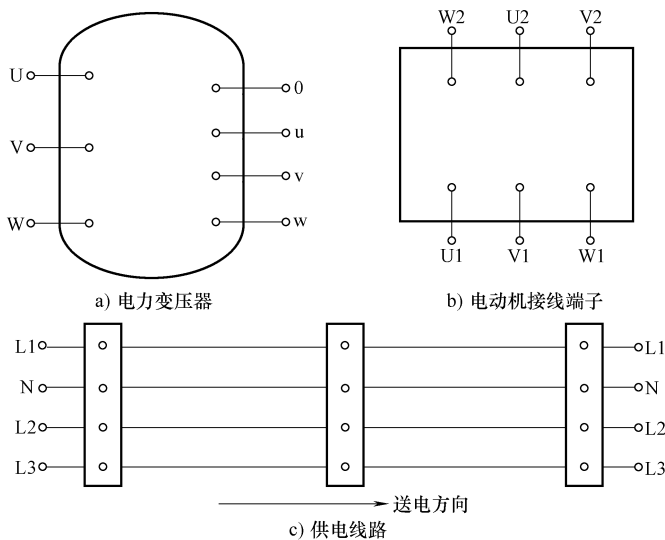


图 8-2 对供电设施三相相序的规定

(2) 用仪表检测相序 上面所述相序的判别，在有些情况下是不准确的，因而还要使用仪表进行测定。一般检测相序常用的仪表就是相序表，如图 8-3 所示。

用相序表检查相序的方法如下：

- 1) 将电缆连接的接线夹接入被测三相电路，然后按下按钮，观察指示灯。如果三只灯全亮，则说明三相电源完好；如果三只灯中任意一只不亮，则对应的相线已接错。
- 2) 通过观察孔观察铝盘转向。如果铝盘按箭头所示方向顺时针转动，则三相电源相序与接线夹所示相序相同，为顺相序。反之，则为逆相序。



图 8-3 相序表

2. 电压不平衡故障点诊断

三相电压不平衡是三相电源故障的主要方面。电压不平衡故障的主要表现形式：电源变压器高压侧一相断电、低压一相或两相断电、三相电压不等。

查找三相电压不平衡故障可采用试电笔、万用表等进行测量。

- (1) 用测电笔诊断 采用试电笔查找电源断一相电比较有效。如图 8-4 所示，分别用

试电笔测试 L1、L2、L3 三相，无指示者为断电相。但这种测试方法，必须将负载切除，如图 b 中所示。由于负载未切除，L1、L2 相电位通过负载反馈到 L3 相，因而在 L3 相试电笔仍然发亮。因此，不断开负载，容易造成错误判断。

对于一般的三相电压不平衡故障，用试电笔测试是不准的，但当电压严重不平衡时，从试电笔亮暗程度可大致区别各相电压的高低。

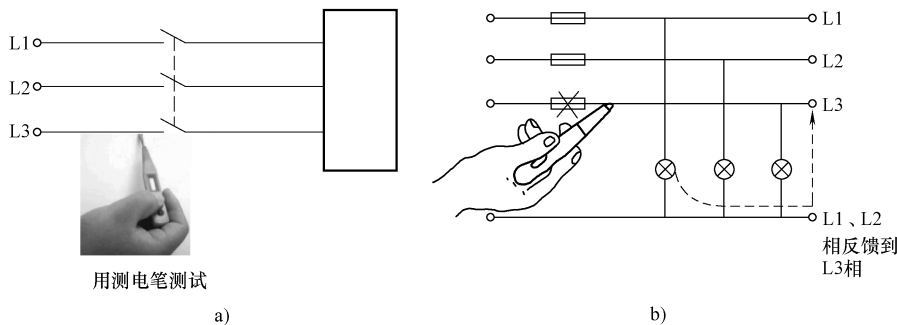


图 8-4 用试电笔检测断相电

(2) **用万用表诊断** 用万用表电压档可准确地测试三相电压不平衡程度。测量的方法是，断开负载，首先将万用表调至交流（AC）“500V”位置，按图 8-4 所示分别测量 U_{L1L2} 、 U_{L2L3} 、 U_{L3L1} ，这三个电压的差别可按下式计算：

$$\Delta u\% = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{U_{\text{av}}} \times 100\%$$

式中 $U_{\max}$ ——最大线电压值；

$U_{\min}$ ——最小线电压值；

U_{av} ——平均电压值， $U_{\text{av}} = (U_{L1L2} + U_{L2L3} + U_{L3L1})/3$ 。

当 $\Delta u\% \geq 15\%$ 时，则可认为三相电源电压出现了三相电压不平衡故障。

8.3 电路故障的检修

电路故障是指在一个电路内除了电源和元件本身故障以外的使电路不能正常工作的其他一切故障。或者说，对某一个装置，假定电源是正常的，所有的组成元件都是良好的，但整个装置却不能正常工作，这样的故障就是电路故障。所以，电路故障也是整体方面的故障，包括接线方式、电接触、电路参数配合等方面。

8.3.1 常见电路故障的分类

常见电路故障大致可分为以下几类：

(1) **断路故障** 电路断路故障是指电路某一回路非正常断开，使电流不能在回路中流通的故障。如断路、电路接触不良等。

(2) **短路和短接故障** 电路中不同电位的两点被导体短接起来,造成电路不能正常工作的故障,称为短路故障,某些情况下也称为短接故障。

(3) **接地故障** 电路中的某点非正常接地所形成的故障,称为接地故障。接地故障有单相接地故障,两相或三相接地故障。对于中性点接地系统的单相接地,实际上构成了单相短路故障。对于中性点不接地的单相接地,将使三相对地电压发生严重变化,从而造成电气绝缘击穿故障等。

(4) **极性故障** 直流电路有正极、负极,交流电路有同名端、非同名端。在许多情况下,如果正负极接反,同名端接错,将造成电气设备不能正常工作的电路故障,称为极性故障。

(5) **连接故障** 任何电路都是将各元件按照一定的顺序连接起来的。在许多情况下,如果这种顺序被打乱,或者将电路中的一些控制元件漏接或多接,三相电路的星形联结和三角形联结错接等,都将使电路不能正常工作。这种故障称为电路连接故障。

(6) **电路参数配合故障** 电路的正常工作离不开电路中各种元件参数的相互协调地配合,否则就会造成电路参数配合故障,例如电路中电感和电容的串联或并联,在某一频率下,电路发生谐振,形成谐振过电压或谐振过电流。

8.3.2 检修电路故障的一般方法

根据电路故障的特点和不同的表现形式,查找电路故障通常有以下一些方法。

(1) **回路分割法** 一个复杂的电路总是由若干单个的回路构成的,电气故障也总是发生在某个或某几个回路中,因而将回路分割,实际上简化了电路,缩小了故障查找范围。回路就是闭合的电路,它通常应包括电源和负载。

(2) **回路状态分析法** 通常回路只有两种工作状态:接通状态和断开状态。只有当回路中所有的触头都闭合,连接线无断点、工作元件正常,回路才能处于接通状态;只要回路中有一个断点,回路就处于断开状态。

(3) **阻抗分析法** 任何电路在正常状态和故障状态下呈现出不同的阻抗,即不同的阻抗状态。如低阻抗(负载阻抗)状态、高阻抗(开路)状态,0阻抗状态。

阻抗状态从另一个侧面反映了电路的故障情况。例如一般负载(如照明、电动机)电路,正常情况下均处于低阻抗状态,如果为0状态,则是短路故障。但有些电路,如电流互感器电路,正常时应为0阻抗状态,低阻抗和高阻抗状态均为故障状态。

(4) **电位分析法** 在不同的状态下,电路中各点具有不同的电位分布,因此可以通过测量和分析电路中某些点的电位及其分布,确定电路故障的类型和部位。

8.3.3 断路故障的检修

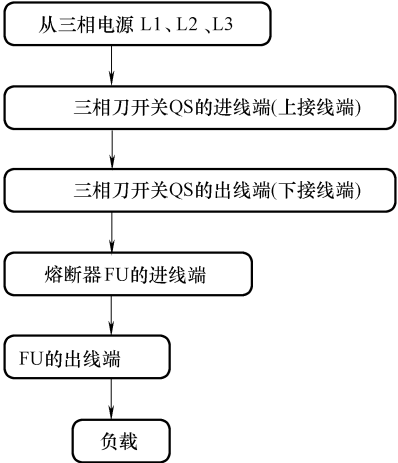
断路是指电路断开或接触不良,电流不能形成回路。如果单相电路发生断路故障,负载不能工作。如果三相电路发生断路,三相电源断相,对三相用电设备将造成严重后果。如果三相四线制供电线路的零线断路,将导致三相负载不平衡,负载大的一相相电压降低,负载小的一相电压增高,这时负载是白炽灯,则会出现一相灯光暗淡,另一相上的灯则变得很亮,同时中性线断口负载侧将出现对地电压等故障现象。

断路故障的诊断方法有如下几种：

1. 万用表检查法

(1) 主电路断路故障的查找 首先确定故障元件，如图 8-5 所示。

从三相电源向负载侧依次测量各元件进线端和出线端的电压，步骤如下：



通过测得的电压来判断各元件、连接导线是否正常。例如测得刀开关 QS 的进线端三相电压正常，而 QS 的出线端三相电压不正常，则表明开关 QS 的某刀口接触不良或损坏。

这时就可以查找故障点了，若测得 L1、L2 两点间的电压正常，而 U_{11} 、 V_{11} 两点间的电压不正常，这时可测量 U_{11} 、L2 两点间的电压，若电压正常，则表明刀开关 L2 相的触刀与刀座接触不良。

(2) 控制电路断路故障的查找 控制电路断路时，各降压元件不再有电压降，电源电压全部加在断路点两端，所以可用万用表电压档测量电压判断断路故障点。用电压测量法检查控制电路，如图 8-6 所示。

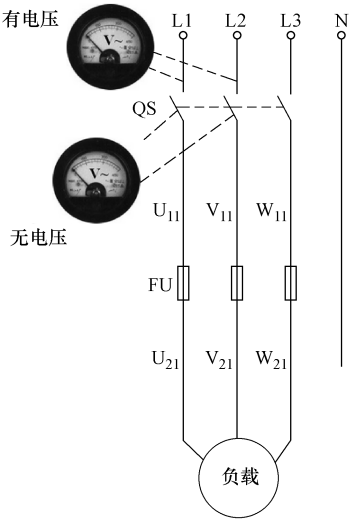


图 8-5 用电压测量法检查主电路断路故障

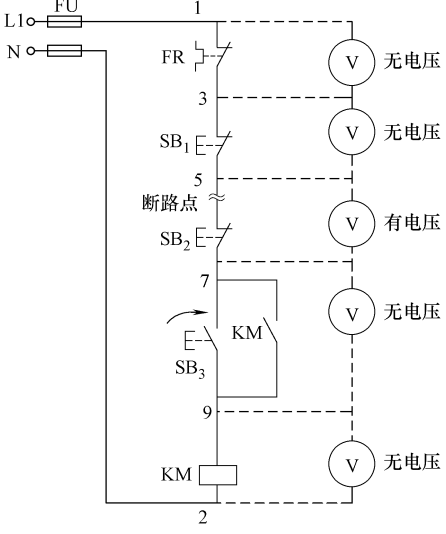


图 8-6 用电压测量法检查控制电路断路故障

首先测量 1-2 两标号点间的电压，判断电源和熔断器 FU 是否正常。若 1-2 间无 $\sim 220\text{V}$ ，则表明熔断器熔断；若 1-2 间有 $\sim 220\text{V}$ ，可把万用表一根表笔固定于标号点 2，按下按钮 SB_3 ，另一根表笔逐个测量控制电路中各触头间的电压，正常时除线圈 KM 两端（2-9 两点间）有 $\sim 220\text{V}$ 电压外，其余相邻各点间的电压均应为“0”，否则视为断路或接触不良。例如测得 5-7 两点间的电压为 $\sim 220\text{V}$ ，则表明按钮 SB_2 或其两端连线为断路故障点。

2. 校验灯检查法

（1）跨接法 首先确定故障相，如图 8-7a 所示，接通电源，把串联 2 只 220V 灯泡的校验灯的两引线分别跨接在三相电源接线柱上，若测量 L1、L2 两相时，校验灯亮，而触及 L2、L3 两相时，校验灯微亮，则表明 L3 相为断路相。

确定了故障相后，查找故障点的方法如图 8-7b 所示，从上至下分别跨触 L₃ 相的刀开关、熔断器、接触器主触头及其连接导线（经负载后，断路点两端有电压降），若触及两接线端时，校验灯突然发光，则表明刚跨过的触头、连接导线断路或接触不良。

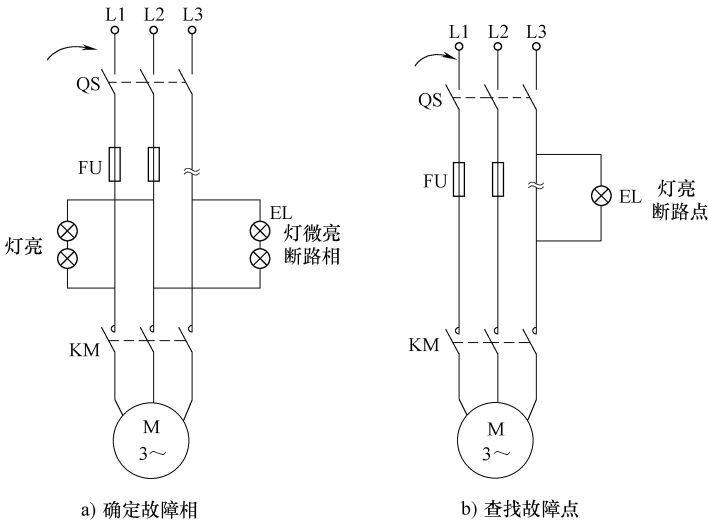


图 8-7 用跨接法检查主电路断路故障

（2）一点接地法 首先确定故障相，如图 8-8a 所示，接通电源，将校验灯的一端接地或接中性线，另一端分别触及三相电源，若触及某相时校验灯微亮，则表明被测相为断路相。

确定了断路相后，查找故障点的方法如图 8-8b 所示，从上至下分别测量断线相的各触头（包括刀开关、熔断器、接触器主触头）的对地电压，若测到某处校验灯微亮或不亮，则表明刚跨接过的熔断器、触头为断路故障点。

（3）短接法 短接法是把电气设备的某触头或某段线路用导线短接起来，以判断断路故障是否在短接处，若短接后故障消除，则表明故障在短接部位，否则可判断故障在短接点之外。

在图 8-9a 所示的电路中，继电器 KA 不吸合，可用导线分别将 1-3、3-5、5-7、7-9

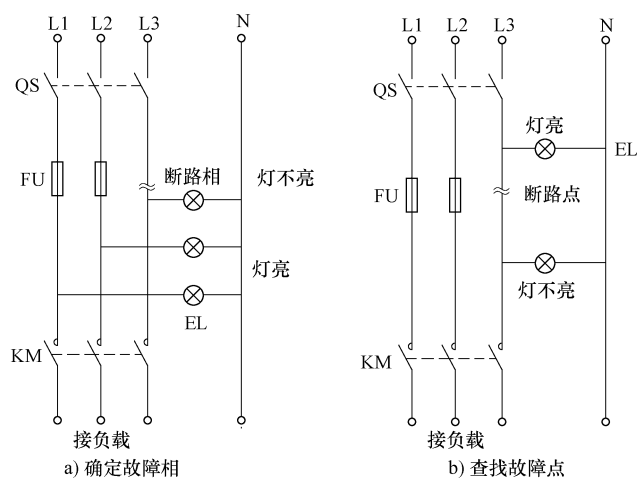


图 8-8 用一点接地法检查主电路断路故障

等标号点短接，若短接到某处时，继电器吸合，则表明短接处断路。也可直接先将 1-9 短接，看是否是开路故障，然后从线路的中间短接（如图中分为 1-5 和 5-9 两段），确定故障段，再分别短接故障段的触头就可以了，如图 8-9b 所示。

应该注意的是，短接时，一定要结合电路图，搞清楚线路的走线，不要短接保护元件，如图 8-9 中的熔断器 FU，以防电路失去保护；也不要短接降压元件，如图 8-9 中的 KA 线圈，否则电路将出现短路故障。

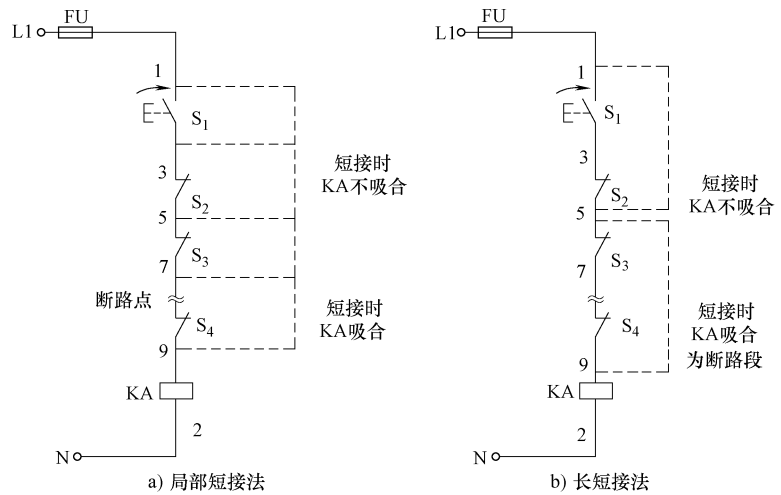


图 8-9 用短接法检查控制电路断路故障

3. 电池灯法

用电池灯检查电路通断，实际上是检查电路的电阻，因电阻为零或较小时，相当于两接线端短接，所以其检查方法也同用万用表测量电阻法相似。用电池灯检查断路故障的方法如图 8-10 所示。

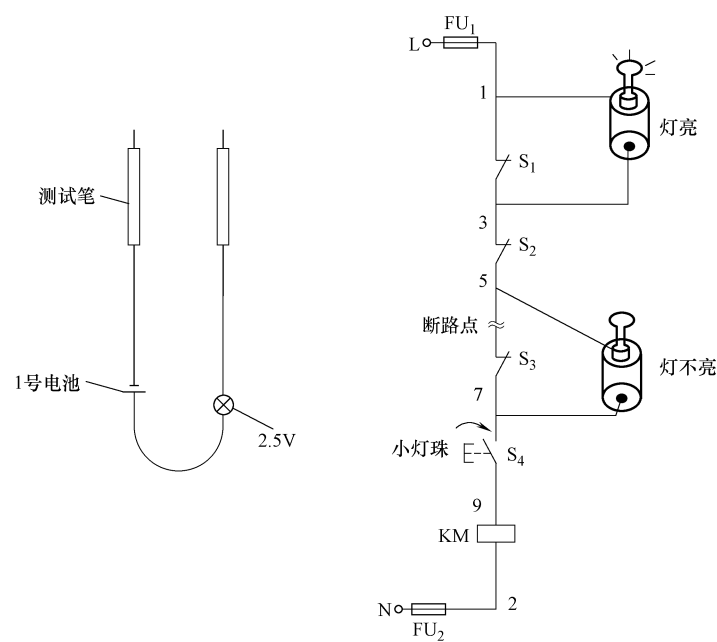


图 8-10 用电池灯检查断路故障

检查前，先切断电源，使被测电路与其他电路断开联系。

检查时，逐个检查各按钮或触头，经过按钮或常开触头时要将触头闭合，当测至某按钮或触头时，电池灯不亮，则表明电池灯两测试点所跨接的触头断路或接触不良。

4. 电位测量法

不同的工作态，线路中各点的电位分布是不一样的，所以可以通过测量和分析线路中主要测试点的电位，来确定故障部位。电位测量可用试电笔（或称验电笔）、万用表、示波器等工具。用试电笔检查照明电路断路故障的方法如图 8-11 所示。

检查时，先用试电笔从电源 L，侧依次测量标号点 1、3、5、7、9，试电笔都应亮，若测量到哪一点时试电笔不亮，则试电笔刚测量的点向后触头为故障点。例如测量到点 7 时试电笔不亮，而测量到点 5 时试电笔亮，则表明 5-7 间的按钮触头接触不良或连接导线松脱。

注意：

1) 测量有一端接地的 ~ 220V 控制电路时，应从电源 L，开始测量，测到线圈的另一侧时，必须把地线拆掉或断开。

2) 在检查 ~ 380V 带有变压器的控制电路中

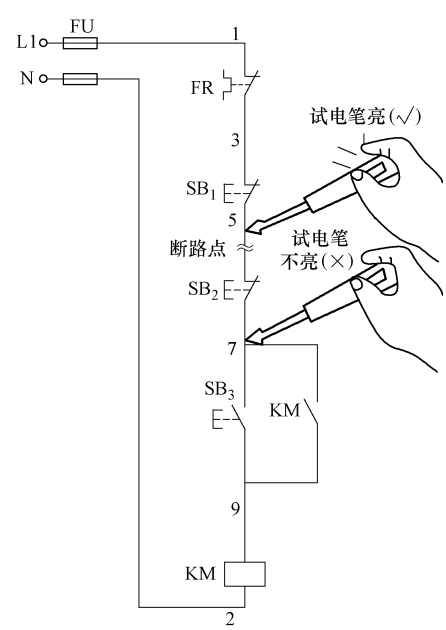


图 8-11 用试电笔检查断路故障

的熔断器是否熔断时，防止由于电源从未熔断相的熔断器和变压器的一次绕组回到已熔断相的出线端，而使判断发生错误。

8.3.4 短路故障的检修

短路是指线路中不同电位或电压等级的两点被短接，由于短路时存在较大的短路电流，很容易使线路及元器件损坏。短路故障的形式有很多，如常见的触头本身短路、触头间短路、电源间短路等。无论哪种短路故障，短路点的阻抗都表现为零阻抗，所以短路故障可以通过测量电路的阻抗来检查。

1. 用分析法检查触头或元件本身短路

触头本身短路表现为电路的运行状态异常，对于比较简单的电路，可以通过分析电路的工作原理，了解电路中各个元件的作用，从而找出故障点。

在图 8-12 所示的电路中，如停止按钮 SB_1 已短路，会出现按下停止按钮 SB_1 时，不能切断接触器 KM 的控制电路，电动机不能停转的现象；当与 HL_1 串联的 KM 常闭触头短路时，会出现电动机启动后指示灯 HL_1 不熄灭的现象。当然也可以用阻抗测量法检查怀疑的触头、元件，若断开的触头的电阻为“0”，则说明此触头短路。

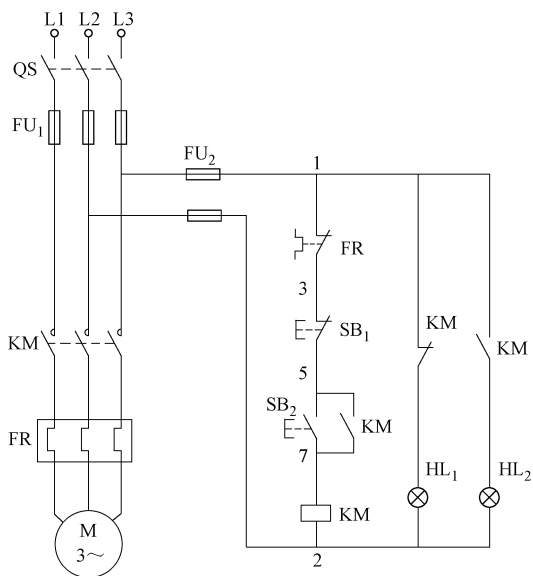


图 8-12 用分析法检查触头或元件本身短路

2. 用回路分割法检查触头间短路

回路是电流流通的路径，对于较复杂的电气线路或电气设备，可把互相连接的电气线路分割成各个独立回路，以确定故障范围，然后根据故障现象，确定或缩小故障单元，把与本故障无关联的单元电路排除在外。确定了故障单元后，再将故障区域内的电路分割开来，进一步缩小故障范围，直至查出故障点。这种方法不但常用于强电控制电路，也常用于电子电路中。

在图 8-13 所示的电路中，接触器 KM 常开辅助触头上的 7 号线与其常闭触头上的 9 号线短路，会出现不按启动按钮 SB_2 接触器 KM 就吸合的故障现象（电源通过 9 号线上的 KM 常闭触头使线圈得电）。

（1）**确定故障性质** 切断电源，拔掉 FU 的内装熔体，将主电路与控制电路分开，用万用表测量 1-7 间的电阻为零，说明线路存在短路故障。

（2）**检查重点部位** 由于不按启动按钮 SB_2 接触器 KM 就吸合，首先检查启动按钮 SB_2 有无卡阻， SB_2 上的接线头是否短路。经检查，启动按钮 SB_2 无短路故障。

（3）**确定故障范围** 由于支路较多，短路故障可能与信号支路有关。为方便检查，可将两指示灯拆开，如故障排除，说明短路故障与指示灯电路有关，否则短路故障与指示灯

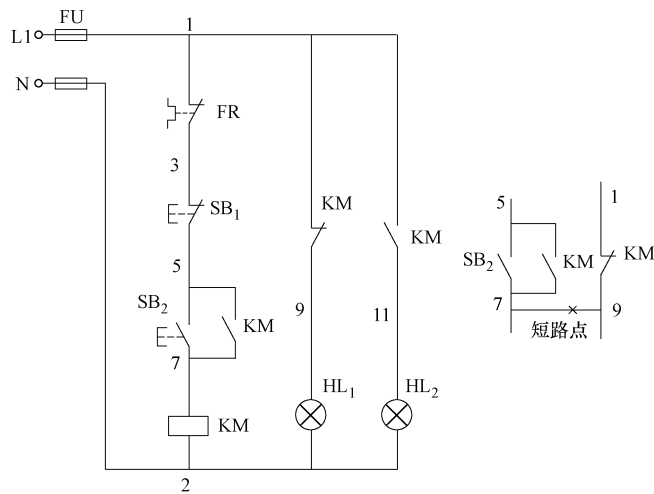


图 8-13 用回路分割法检查触头间短路故障

电路无关。

(4) **进一步缩小故障范围** 将两指示灯电路中的一个复位，如果故障又恢复，说明短路的一点在恢复的回路中；如故障没有恢复，说明短路的一点在另一指示灯回路中。实际恢复 HL₁ 电路时，故障重现，说明短路故障的一点就在 HL₁ 电路中。

(5) **查找故障点** 检查与 HL₁ 相连的 KM 常闭触头上的接线发现，该常闭触头的引出线与其常开自锁触头的引出线由于毛刺短路，即 7-9 号线路短路。改进接线工艺后，故障消除。

8.3.5 接地故障的检修

除了正常的工作接地和保护接地外，线路中某点因绝缘损坏、安装不当或其他原因与大地相连而形成的接地，称为故障接地。故障接地不但会导致设备损坏，还可能对人身造成危险。接地故障常用万用表和绝缘电阻表检查。

在图 8-14 所示的电路中，HL₁ 的外壳接地，可用万用表或绝缘电阻表检查，现以绝缘电阻表检查为例说明其检查过程。

(1) **确定故障范围** 检查前，断开电源，取下 FU 的内装熔体，将控制电路与主电路分开，分别测量主电路和控制电路的对地电阻，结果发现主电路对地绝缘电阻为“∞”，而控制电路的对地电

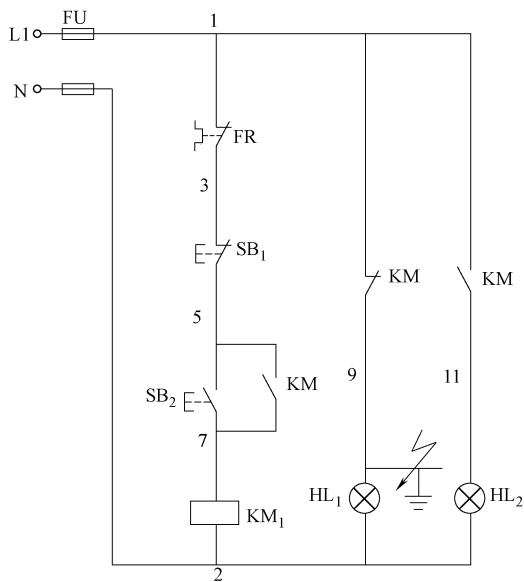


图 8-14 接地故障的查找

阻为“0”，则表明控制电路接地。

(2) **缩小检查范围** 为方便检查，可将两指示灯电路拆开，分别测量3个支路的对地绝缘，实际测得接地故障在指示灯 HL_1 支路。

(3) **查找故障点** 由于 HL_1 支路上的元件、导线较少，分别检查各元件、接点，最后发现 HL_1 绝缘损坏后，通过其金属外壳接地。更换 HL_1 后，故障排除。

8.4 常用低压电器的故障检修

8.4.1 熔断器的故障检修

熔断器是根据电流超过规定值一定时间后，以其自身产生的热量使熔体熔化，从而使电路断开的一种电流保护器。熔断器主要由熔体和熔管两部分及外加填料等组成（见图8-15）。使用时，将熔断器串联于被保护电路中。熔断器广泛应用于低压配电系统和控制系统及用电设备中，作为短路和过电流保护，是应用最普遍的保护器件之一。



图 8-15 常用熔断器

熔断器的故障主要表现为非正常熔断导致线路断电。对于熔断器非正常熔断故障，可以从以下几个方面分析。

1. 检查熔丝选择是否合理

大多数电气设备都具有一定的过载能力，是允许在一定条件下短时过载运行的，这时熔断器就不能熔断，而当负载超过允许值时，就又要要求熔断器马上熔断，起到保护作用。

另外还有一些设备起动电流很大,但起动时间很短,所以要求熔断器在设备起动时不熔断,在短路电流作用下或超过允许值时,能可靠熔断,起到保护作用。

当熔断器非正常熔断后,可参考如下要求检查熔断器的容量是否合理。

(1) **照明电路** 熔断器额定电流 $\geq$ 被保护电路上所有照明电器工作电流之和。

(2) **电动机**

1) 单台直接起动电动机: 熔断器额定电流 $= (1.5 \sim 2.5) \times$ 电动机额定电流。

2) 多台直接起动电动机: 总保护熔断器额定电流 $= (1.5 \sim 2.5) \times$ 各台电动机电流之和。

3) 减压起动电动机: 熔断器额定电流 $= (1.5 \sim 2) \times$ 电动机额定电流。

4) 绕线式电动机: 熔断器额定电流 $= (1.2 \sim 1.5) \times$ 电动机额定电流。

(3) **配电变压器低压侧** 熔断器额定电流 $= (1.0 \sim 1.5) \times$ 变压器低压侧额定电流。

(4) **并联电容器组** 熔断器额定电流 $= (1.3 \sim 1.8) \times$ 电容器组额定电流。

(5) **电焊机** 熔断器额定电流 $= (1.5 \sim 2.5) \times$ 负载电流。

(6) **电子整流元器件** 熔断器额定电流 $\geq 1.57 \times$ 整流元件额定电流。

2. 检查熔丝安装是否正确, 是否在安装过程中造成了机械损伤, 导致熔丝容量减小。

1) 熔丝端头绕线应正确, 如果重叠或绕反, 将使熔丝与熔断器端子接触不良或接头发热, 使熔丝非正常熔断。

2) 熔丝的安装不能拉得太紧, 导致熔丝截面积减小; 或者熔丝过松, 导致熔丝过于弯曲, 使熔丝的发热量增加。

3) 固定熔丝的螺钉必须加平垫片, 有的还需加弹簧垫片, 否则也容易造成熔丝非正常熔断。

4) 一根熔丝容量不够时, 需要多根熔丝时, 一般不能将其绞扭成一股使用, 因为这样会降低熔丝的总容量, 也会造成非正常熔断。多根熔丝的安装可参考图 8-16 的方法。

5) 装有石英砂的熔断器, 更换熔丝时, 需更换全部石英砂。新的石英砂必须干燥, 纯度不应低于 95%。否则, 也将因熔断器灭弧能力降低而使熔丝非正常熔断。

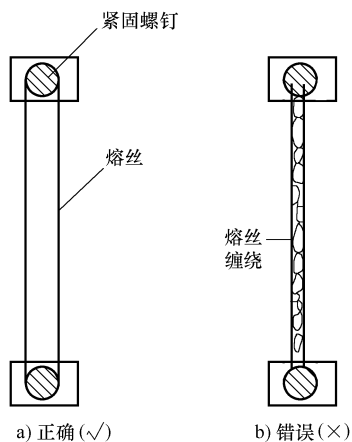


图 8-16 多根熔丝的安装

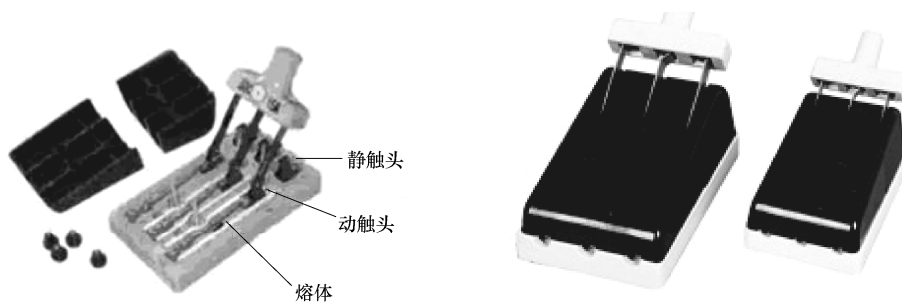
8.4.2 开关设备的故障

1. 负荷开关

负荷开关一般分为开启式负荷开关 (见图 8-17) 和封闭式负荷开关 (见图 8-18) 两种。

负荷开关的常见故障:

(1) 合闸后一相或两相没电的故障原因



a) HK开启式负荷开关



b) 板用开关

图 8-17 开启式负荷开关



图 8-18 封闭式负荷开关

- 1) 静触刀座弹性消失或开口过大，使触刀座与动触刀不能接触；
- 2) 熔丝熔断或连接不良；
- 3) 触刀座、动触刀氧化或有尘污；
- 4) 电源进线或出线头氧化后接触不良。

(2) 触刀座或动触刀过热或烧坏的故障原因

- 1) 开关容量太小；
- 2) 断、合闸时动作太慢造成电弧过大，烧坏触头；
- 3) 触座表面烧毛；

- 4) 动触刀与触刀座压力不足;
- 5) 负载过大。
- (3) 开启式负荷开关的操作手柄带电故障原因
 - 1) 外壳接地线接触不良;
 - 2) 电源进出线绝缘损坏碰壳。

2. 组合开关

组合开关的外形如图 8-19 所示。



图 8-19 组合开关

组合开关的常见故障:

(1) 手柄转动 90°后, 内部触头未动的故障原因

- 1) 手柄上的三角形或半圆口磨成圆形;
- 2) 操作机构损坏;
- 3) 绝缘杆由方形磨成圆形;
- 4) 轴与绝缘杆装配不紧。

(2) 手柄转动后, 三副静触头和动触头不能同时接通或断开的故障原因

- 1) 开关型号不对;
- 2) 修理后触头位置装配不正确;
- 3) 触头失去弹性或有尘污。

(3) 开关接线柱相间短路的故障原因 主要是由于长期不清扫, 铁屑或油污附在接线柱间形成导电层, 将胶木烧焦, 因绝缘破坏而形成短路。

3. 空气断路器

空气断路器按结构形式可分为塑壳式 (见图 8-20) 和万能式 (见图 8-21) 两大类。

空气断路器的常见故障:

(1) 手动操作断路器不能闭合的故障原因

- 1) 电源电压太低;
- 2) 热脱扣的双金属片尚未冷却复原;
- 3) 欠电压脱扣器无电压或线圈损坏;



图 8-20 塑壳式空气断路器

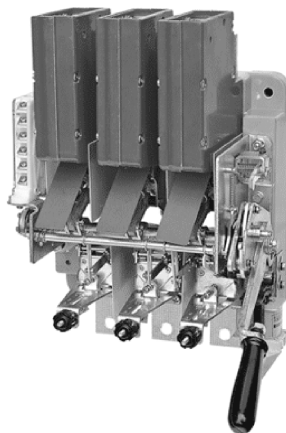


图 8-21 万能式空气断路器

- 4) 储能弹簧变形，导致闭合力减小；
- 5) 反作用弹簧力过大；
- 6) 锁链和搭钩长期使用而磨损。

(2) 欠电压脱扣器不能使断路器分断的原因 一般是反力弹簧变小或储能弹簧断裂和弹簧力变小。

(3) 欠电压脱扣器噪声大的原因 一般是反作用弹簧力太大、铁心工作面有油污或短路环断裂。

(4) 电动机起动时断路器立即分断的原因 一般是过电流脱扣器瞬时整定值太小，脱扣器某些如半导体器件、橡皮膜等损坏或脱扣器反力弹簧断裂落下。

(5) 断路器闭合后经一定时间自行分断的原因 一般是过电流脱扣器长延时整定值不符或热元件老化。

(6) 断路器温升过高的原因 一般是触头压力过小、触头表面过分磨损或接触不良，或两个导电零件连接螺钉松动。

8.4.3 交流接触器的故障检修

交流接触器（见图 8-22）是利用电磁结构来代替手动操作的一种常用开关。在自动控制电路中，用它来接通或断开正常工作状态下的主电路和控制电路。它的基本作用和刀开关类似。由于交流接触器具有操作安全、控制容量大，而且能进行远距离控制等优点，所以在低压电网的控制系统中得到了广泛的应用。

交流接触器的常见故障及维修方法如下：

(1) 通电后不能合闸

- 1) 检查线圈供电线路是否有断路，把断开点重新接好；
- 2) 检查起动按钮触头是否接触不良；
- 3) 检查线圈额定电压是否比线圈电压高，应更换额定电压合适的线圈；
- 4) 检查触头与灭弧室壁之间是否卡住，或其他可动零部件与其运行导轨或导槽之间

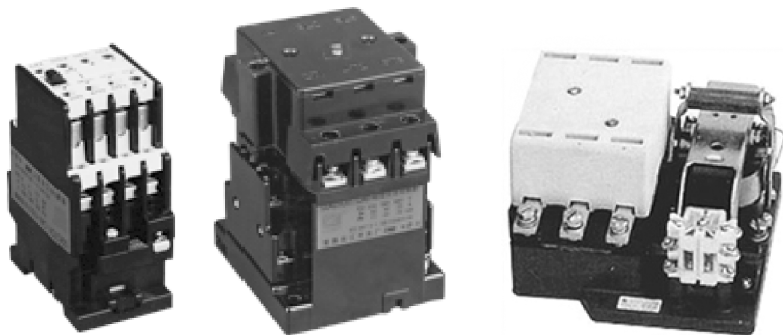


图 8-22 交流接触器

是否卡住；

- 5) 检查转轴是否生锈或歪斜，拆下来清洗除锈或更换已磨损零部件，上润滑油；
- 6) 检查控制电路电源电压是否过低，调整电源电压；
- 7) 检查释放弹簧压力是否过大，应调整；
- 8) 检查触头行程是否过大，应调整。

(2) 运行中噪声过大或发生振动

1) 检查线圈电压是否不足，应调整线圈电压；

2) 检查铁心极面积是否有污垢、生锈、因磨损过度而不平，应清理极面，必要时应整修；

- 3) 检查短路环是否断裂，应更换新短路环；
- 4) 检查动、静铁心夹紧螺钉是否松动，应将螺钉拧紧；
- 5) 检查可动部分是否配合不当，查明故障后进行调整；
- 6) 检查反作用力弹簧是否过大。

(3) 松开起动按钮接触器立即释放

- 1) 检查接触器辅助触头是否接触不良，应清理辅助触头或更换新触头；
- 2) 检查控制回路中触头是否接触不良，查明接触不良的触头加以更换或清理；
- 3) 检查自锁触头的接线是否不对。

(4) 接触器动作过于缓慢

- 1) 检查动、静铁心间的间隙是否过大，调整机械部分，减小间隙；
- 2) 检查安装位置是否不妥当，按产品说明书或技术条件规定重新更换；
- 3) 检查线圈电压是否不足，调整线圈电压；
- 4) 检查反作用力弹簧是否过大。

(5) 断电后接触器不能释放

- 1) 检查反作用力弹簧是否过小，应换上合适的弹簧；
- 2) 检查剩磁是否过大，对于直流接触器，应更换或加厚非磁性垫片，对于交流磁系统，应将剩磁间隙处极面锉去一部分或更换磁系统；
- 3) 检查新接触器铁心表面所涂凡士林是否没擦净；

- 4) 检查可动部分是否被卡住；
- 5) 检查接触器的安装位置是否不妥当；
- 6) 检查触头是否熔焊在一起，撬开已熔焊在一起的触头或更换新触头；
- 7) 检查控制线路接线是否有错，应重新查对线路。

(6) 接触器的线圈有损坏或烧毁或引出线断裂

- 1) 是否因空气潮湿或含腐蚀性气体，导致线圈绝缘损坏；
- 2) 检查线圈内部是否断线，更换新线圈；
- 3) 检查接触器是否因碰撞或振动导致机械损伤；
- 4) 检查线圈额定电压比控制回路是否低；
- 5) 检查线圈的通电持续率是否与实际情况不符；
- 6) 检查线圈是否超过规定电压运行；
- 7) 检查接触器是否欠电压运行，动铁心是否不能吸合；
- 8) 交流线圈的操作频率是否过高；
- 9) 检查双线圈结构是否因自锁触头焊住，以致起动绕组长期通电；
- 10) 检查接触器周围环境温度是否过高；
- 11) 检查接触器线圈匝间是否短路；
- 12) 检查接触器线圈是否因机械损伤或附有导电尘埃而发生局部短路；
- 13) 检查接触器接头焊接是否不良，以致因接触电阻过大而烧毁；
- 14) 检查接触器线圈电流是否过大，应调整。

(7) 检查接触器触头是否严重发热

- 1) 检查负载电流是否过大；
- 2) 检查触头是否生锈严重，或积尘过多，或铜触头已经严重氧化；
- 3) 检查接触器触头行程是否过小，能调整就调整，不能调整就更换；
- 4) 检查接触压力是否不足；
- 5) 接线是否松动。

(8) 接触器主触头熔焊

- 1) 闭合过程中振动是否过于剧烈，是否是由于供电电压过高造成的；
- 2) 接触压力是否不足；
- 3) 触头分断能力是否不足；
- 4) 触头表面是否有金属颗粒突起或异物。

8.4.4 继电器的故障检修

继电器是一种根据输入信号（比如电流、电压、时间、速度计温度等）使被控制的输出电路接通或断开的电器，如图 8-23 所示。继电器一般不是用来直接控制主电路的，因此继电器的触头断流容量较小，所以不需要灭弧装置，但对动作的准确性却要求较高。由于继电器具有动作快、工作稳定、使用寿命长、体积小等优点，广泛应用于电力保护、自动化、遥控、测量和通信等装置中。



图 8-23 几种常用的继电器

1. 热继电器的常见故障检修（见表 8-3）

表 8-3 热继电器的常见故障检修

故障现象	产生原因	修理方法
热继电器误动作或动作太快	1) 整定电流偏小 2) 操作频率过高 3) 连接导线太细 4) 使用场所有强烈冲击振动 5) 电动机起动时间太长	1) 调大整定电流 2) 调换热继电器或限定操作频率 3) 选用标准导线 4) 选用防冲击振动的热继电器 5) 选用合适的热继电器
热继电器不动作	1) 整定电流偏大 2) 热元件烧断或脱焊 3) 导板脱出 4) 触头接触不良或触头失灵不能打开 5) 动作机构卡住 6) 双金属片产生永久变形	1) 调小整定电流 2) 更换热元件或热继电器 3) 重新放置导板,并试验动作是否灵活 4) 应清除触头表面脏污 5) 进行调接 6) 更换新双金属片
热元件烧断	1) 负载侧短路或电流过大 2) 反复短时工作,操作频率过高	1) 排除故障调换热继电器 2) 限定操作频率或调换合适热继电器
主电路不通	1) 热元件烧毁 2) 接线螺钉未压紧	1) 更换热元件或热继电器 2) 旋紧接线螺钉
控制电路不通	1) 热继电器常闭触头接触不良或弹性消失 2) 手动复位的热继电器动作后,未手动复位	1) 检修常闭触头 2) 手动复位

2. 时间继电器常见故障检修（见表 8-4）

表 8-4 时间继电器的常见故障检修

故障现象	产生原因	修理方法
延时触头不动作	1) 电源电压低于线圈额定电压很多 2) 电动式时间继电器的同步电动机线圈断机 3) 电动式时间继电器的棘爪无弹性,不能刹住棘齿 4) 电动式时间继电器游丝断裂	1) 更换线圈或调高电源电压 2) 调换同步电动机 3) 调换棘爪 4) 调换游丝
延时时间缩短	1) 空气阻尼式时间继电器的气室装配不严,漏气 2) 空气阻尼式时间继电器的气室内橡皮薄膜损坏	1) 修理或调换气室 2) 调换橡皮薄膜
延时时间变长	1) 空气阻尼式时间继电器的气室内有灰尘,使气道阻塞 2) 电动式时间继电器的传动机构缺润滑油	1) 清除气室内灰尘,使气道畅通 2) 加入适量的润滑油

8.5 常用电动工具的故障检修

8.5.1 手电钻的常见故障检修

手电钻是最常用的电动工具之一,如图 8-24 所示,一般都是单相供电的,也有用直流电池供电的,其常见故障检修方法见表 8-5。



图 8-24 手电钻

表 8-5 手电钻的常见故障检修

故障现象	故障原因	排除方法
电钻不能起动	1) 电源线断路 2) 开关损坏 3) 电刷或整流子不接触 4) 定子绕组断路 5) 转子绕组严重断路 6) 齿轮有磨损	1) 用万用表或校验灯检查,维修断路的电源线 2) 修理或调换开关 3) 调整电刷压力增大接触面 4) 维修定子绕组,若在端部可焊接后继续使用 5) 重绕绕组 6) 修理或调换齿轮

(续)

故障现象	故障原因	排除方法
电钻转速慢	1) 转子绕组断路或短路 2) 定子绕组通地或短路 3) 轴承磨损或减速齿轮损坏	1) 电钻转速慢、力矩也小,整流子与电刷件产生很大火花,火花呈红色。停机后: ①用短路侦察器检查,如绕组短路,重绕绕组 ②用万用表检查换向器与绕组连接处,如发现少量断路或脱焊,应连接重焊 2) 用绝缘电阻表、校验灯检查定子绕组对地绝缘或用电压降法检查各个绕组。如发现短路绕组,须加以修复或重绕 3) 调换轴承或齿轮
换向器与电刷间火花较大	1) 定、转子绕组短路或断路 2) 电刷和换向器接触不良 3) 电刷规格不符	1) 参考本表第二项 2) 增加电刷压力;若电刷太短,应更换电刷或改善接触面 3) 更换电刷
整流子发热	1) 电刷压力过大 2) 电刷规格不符	1) 调整到适当压力 2) 更换电刷

8.5.2 交流电焊机的常见故障检修

交流电焊机的种类很多,在工矿企业的设备安装及维修工作中都有广泛的应用,其常见故障检修方法参见表 8-6。

表 8-6 交流电焊机的常见故障检修

故障现象	故障原因	排除方法
焊机不起弧	1) 电源没有电压 2) 焊机接线错误 3) 焊机绕组有短路或断路 4) 电源电压过低 5) 电源线截面太小或焊接电缆截面太小	1) 检查电源电压、刀开关和熔断器的接通情况 2) 检查一、二次侧的接线是否正确 3) 检查线圈情况 4) 调整电源电压 5) 选用截面足够的电线(见表 7-4)
焊机线圈过热	1) 焊机过载 2) 焊机线圈短路	1) 按规定的暂载率下的焊接电流值使用 2) 重绕线圈,更换绝缘
焊机铁心过热	1) 电源电压超过额定电压 2) 铁心硅钢片短路 3) 铁心夹紧螺杆及夹件的绝缘损坏 4) 重绕一次线圈后,线圈匝数不足	1) 用电压表检查电源电压值并与焊机铭牌上的规定值相对照 2) 清洗硅钢片,并重刷绝缘漆 3) 更换绝缘材料 4) 检查线圈匝数,并验算各项电气技术数据
熔丝经常熔断	1) 电源线有短路或接地 2) 一次或二次侧线圈短路	1) 检查电源线的情况 2) 检查线圈情况,更换绝缘,重绕线圈
焊机外壳带电	1) 线圈接地 2) 电源引线或焊接电缆碰外壳	1) 用绝缘电阻表检查各线圈绝缘电阻 2) 检查电源引线和焊接电缆与接线端子板的连接情况
焊机振动及响声过大	1) 动铁心上的螺杆和拉紧弹簧松动或脱落 2) 传动动铁心或动线圈的机构有故障 3) 线圈短路	1) 加固动铁心及拉紧弹簧 2) 检修传动机构如手柄、螺杆、齿轮等 3) 更换绝缘,重绕线圈

(续)

故障现象	故障原因	排除方法
焊接电流不能调节	1) 传动动铁心或动线圈的机构有故障 2) 重绕电抗器线圈后, 匝数不足, 焊接电流不能调节得较小	1) 检修传动机构 2) 适当增加电抗器线圈匝数
调节手柄不能动	1) 调节机构上油垢太多或已锈住 2) 移动路线上有障碍 3) 调节机构已磨损	1) 清洗除锈 2) 清除障碍物 3) 检查更换磨损的零件
焊机绕组绝缘太低	1) 线圈受潮 2) 线圈长期过热, 绝缘老化	1) 在 100 ~ 110℃ 的烘干炉中烘干 2) 更换绝缘, 重绕线圈

8.5.3 单相电动扳手和电动螺丝刀的常见故障检修

单相电动扳手（见图 8-25）和电动螺丝刀（见图 8-26）的基本结构和电钻类似，但是增加了冲击、过扭离合机构和电动机正反转控制装置。因为电动扳手和电动螺丝刀的工作头在紧固螺钉或螺帽到最后冲击旋紧瞬间，要求立即反转脱离传动机构，以免扭损加工件及操作者，这就是和电钻不同的结构的地方，也是最容易产生故障的地方。



图 8-25 电动扳手



图 8-26 电动螺丝刀

电动扳手和电动螺丝刀在使用中一定要注意：

1) 严格遵守在持续率 25% 以下工作，持续率过高会损坏电动机，若需要高持续率，则应更换大规格扳手。

2) 若进行拆卸螺栓, 必须在电源切断后, 才能拨动正反转开关。
单相电动扳手和电动螺丝刀的常见故障及排除方法参见表 8-7。

表 8-7 单相电动扳手和电动螺丝刀的常见故障及排除

故障现象	故障原因	排除方法
接通电源电动机不转	1) 电源断路 2) 开关损坏或解除不良 3) 电刷与刷盒配合过紧卡死 4) 电刷架松动偏离中心线 5) 换向片有污垢, 比如导电粉末 6) 定子、电刷绕组有短路、短路或受潮 7) 轴承严重磨损或配合过紧 8) 电枢卡死或电枢扫膛	1) 检修电源电路并维修 2) 检修或更换开关 3) 修磨电刷, 调整弹簧压力 4) 调整紧固电刷架 5) 清洗换向片间的杂物 6) 检修或重绕绕组, 受潮要烘干处理 7) 校正配合或更换轴承 8) 检修卡死、扫膛故障
工作头起动即停转	1) 主动轴人字槽有毛刺或杂物将冲击块卡死 2) 滚珠螺旋槽冲击机构的滚珠脱落 3) 滚珠弹簧弹性失效	1) 冲击块拆下清除毛刺或杂物, 再用砂布打磨清除残屑 2) 配装滚珠 3) 更换弹簧
工作头扭矩不足	1) 从动冲击块磨损打滑 2) 工作弹簧张力降低	1) 按易损零件图加工更换 2) 更换弹簧
工作头剧烈振动	1) 推力轴承滚珠碎损、脱落 2) 主轴小头断裂	1) 更换轴承 2) 按易损零件图加工更换
工作头只能单转向	1) 倒顺开关接触不良或损坏 2) 倒顺开关接线松动或脱焊	1) 检修或更换开关 2) 重新焊接
工作头无规律断续运转	1) 电源开关接触不良 2) 电动机电刷接触不良或配合过紧 3) 倒顺开关接触不良	1) 检修或更换开关 2) 修磨电刷或改善配合 3) 检修或更换倒顺开关

电气安全知识

9.1 保证电工安全的措施

9.1.1 保证电工安全的组织措施

在低压电气设备上工作，保证安全的组织措施：

- 1) 工作票制度；
- 2) 工作许可制度；
- 3) 工作监护制度和现场看守制度；
- 4) 工作间断和转移制度；
- 5) 工作终结、验收和恢复送电制度。

1. 工作票制度

1) 在低压电气设备或线路上工作，应按下列方式进行：

- ① 填写低压第一种工作票（停电作业）；
- ② 填写低压第二种工作票（不停电作业）；
- ③ 口头指令。

2) 填写低压第一种工作票的工作：凡是低压停电工作均应使用低压第一种工作票。

3) 填写低压第二种工作票的工作：凡是低压间接带电作业，均应使用低压第二种工作票。

4) 不需停电进行作业，如刷写杆号或用电标语、悬挂警告牌、修剪树枝、检查杆根或为杆根培土等工作，可按口头指令执行。

5) 工作票由工作负责人填写，工作票签发人签发。工作许可人发出许可开始工作的命令后，工作负责人负责带领全体工作人员完成工作任务。

工作票签发人由供电所熟悉技术和现场设备的人员，或电力用户有经验的人员担任。工作票签发人应经县供电企业考核批准。

工作负责人由供电营业所人员或电力用户电工担任。

工作许可人必须由本供电所或电力用户电气运行人员担任。

6) 工作负责人和工作许可人不得签发工作票。工作票签发人不得兼任该项工作的工作负责人和工作许可人。

工作负责人和工作许可人，应由两人分别担任。

工作负责人不宜进行检修、试验工作，但在确保安全的情况下，可以参加检修、试验工作。

工作许可人在本班组工作人员不足的情况下，可作为班组成员参加本班组工作，但不能担任工作负责人。

7) 工作票中所列人员的安全责任：

① 工作票签发人：

- a. 工作项目是否必要；
- b. 工作是否安全；
- c. 工作票上所填安全措施是否正确完备；
- d. 所派工作负责人和全体工作人员是否适当和充足。

② 工作负责人：

- a. 正确安全地组织作业；
- b. 结合实际进行安全思想教育；
- c. 检查工作许可人所做的现场安全措施是否与工作票所列的措施相符；
- d. 工作前对全体工作人员交代工作任务和安全措施；
- e. 督促工作人员遵守本规程；
- f. 班组成员实施全面监护。

③ 工作许可人：

- a. 审查工作票所列安全措施是否正确完备，是否符合现场实际；
- b. 正确完成工作票所列的安全措施；
- c. 工作前向工作负责人交代所做的安全措施；
- d. 正确发出许可开始工作的命令。

④ 班组成员：认真执行本规程和现场安全措施，互相关心施工安全，并监督本规程和现场安全措施的实施。

8) 对大型或较复杂的工作，工作负责人填写工作票前应到现场勘查，根据实际情况制订安全、技术及组织措施。

9) 工作票要用钢笔或圆珠笔填写，一式两份。填写应正确清楚，不得任意涂改；如有个别错字、漏字需要修改时，字迹应清楚；必要时可附图说明。

10) 工作票签发人接到工作负责人已填好的工作票，应认真审查后签发；对复杂工作或安全措施有疑问时，应及时到现场进行核查，并在开工前一天把工作票交给工作负责人。

11) 工作负责人接到工作许可命令后，应向全体工作人员交代现场安全措施、带电部位和其他注意事项，并询问是否有疑问，工作班全体成员确认无疑后，工作班成员必须在签名栏签名。

12) 一个工作负责人只能发给一张工作票。工作票上所列的地点，以一个电气连接部分为限，如同一地点同时停送电，则允许在几个电气连接部分共用一张工作票。

13) 工作期间, 一份工作票应始终保留在工作负责人手中, 另一份由工作许可人保存。工作中, 不允许增加工作票内没有填写的工作内容。

14) 紧急事故处理可不填写工作票, 但应履行许可手续, 做好安全措施, 执行监护制度。

15) 已执行的工作票, 由供电所保存, 保存期 3 个月。

16) 口头指令应记载在值班记录中, 主要内容为, 工作任务、人员、时间及注意事项等。

17) 工作票制度的其他要求参照 DL408 标准执行。

2. 工作许可制度

1) 工作负责人未接到工作许可人许可工作的命令前严禁工作。

2) 工作许可人完成工作票所列安全措施后, 应立即向工作负责人逐项交代已完成的安全措施。工作许可人还应以手指背触试, 以证明要检修的设备确已无电。对临近工作地点的带电设备部位, 应特别交代清楚。

当所有安全措施和注意事项交代、核对完毕后, 工作许可人和工作负责人应分别在工作票上签字, 写明工作开始日期、时间, 此时工作许可人即可发出许可工作的命令。

3) 每天开工与收工, 均应履行工作票中“开工和收工许可”手续。

4) 严禁约时停、送电。

3. 工作监护制度和现场看守制度

1) 工作监护人由工作负责人担任, 当施工现场用一张工作票分组到不同的地点工作时, 各小组监护人可由工作负责人指定。

2) 工作期间, 工作监护人必须始终在工作现场, 对工作人员的工作认真监护, 及时纠正违反安全的行为。

3) 工作负责人在工作期间不宜更换, 工作负责人如需临时离开现场, 则应指定临时工作负责人, 并通知工作许可人和全体成员。工作负责人如需长期离开现场, 则应办理工作负责人更换手续, 更换工作负责人必须经工作票签发人批准, 并设法通知全体工作人员和工作许可人, 履行工作票交接手续, 同时在工作票备注栏内注明。

4) 为确保施工安全, 工作负责人可指派一人或数人为专责监护人、看守人, 在指定地点负责监护、看守任务。监护、看守人员要坚守工作岗位, 不得擅离职守, 只有得到工作负责人下达“已完成监护、看守任务”命令时, 方可离开岗位。

5) 安全措施的设置与设备的停送电操作应由两人进行, 其中一人为监护人。

4. 工作间断制度

1) 在工作中如遇雷、雨、大风或其他情况并威胁工作人员的安全时, 工作负责人可下令临时停止工作。

2) 工作间断时, 工作地点的全部安全措施仍应保留不变。工作人员离开工作地点时, 要检查安全措施, 必要时应派专人看守。

3) 在工作间断时间内, 任何人不得私自进入现场进行工作或碰触任何物件。

4) 恢复工作前, 应重新检查各项安全措施是否正确完整, 然后由工作负责人再次向

全体工作人员说明，方可进行工作。

5) 每天工作开始与结束，均应在低压第一种工作票中履行许可与终结手续。每天工作结束后，工作负责人应将工作票交工作许可人。次日开工时，工作许可人与工作负责人履行完工手续后，再将工作票交还工作负责人。

5. 工作终结、验收和恢复送电制度

1) 全部工作完毕后，工作人员应清扫、整理现场。在对所进行的工作实施竣工检查后，工作负责人方可命令所有工作人员撤离工作地点，向工作许可人报告全部工作结束。

2) 工作许可人接到工作结束的报告后，应会同工作负责人到现场检查验收任务完成情况，确无缺陷和遗留的物件后，在工作票上填明工作终结时间，双方签字，工作票即告终结。

3) 工作票终结后，工作许可人即可拆除所有安全措施，然后恢复送电。

9.1.2 保证电工安全工作的技术措施

在全部停电和部分停电的电气设备上工作时，必须完成下列技术措施：

- 1) 停电（断开电源）；
- 2) 验电；
- 3) 挂接地线；
- 4) 装设防护栏和悬挂标示牌。

1. 停电

1) 工作地点需要停电的设备：

- ① 施工、检修与试验的设备；
- ② 工作人员在工作中，正常活动范围边沿与设备带电部位的安全距离小于0.7m；
- ③ 在停电检修线路的工作中，如与另一带电线路交叉或接近，其安全距离小于1.0m（10kV及以下）时，则另一带电回路应停电；
- ④ 工作人员周围临近带电导体且无可靠安全措施的设备；
- ⑤ 两台配电变压器低压侧共用一个接地体时，其中一台配电变压器低压出线停电检修，另一台配电变压器也必须停电。

2) 工作地点需要停电的设备，必须把所有有关电源断开，每处必须有一个明显断开点。

3) 断开开关的操作电源，刀开关操作把手必须制动。

2. 验电

1) 在停电设备的各个电源端或停电设备的进出线处，必须用合格的相应电压等级的专用验电笔进行验电。验电前应先在带电设备上上进行试验，以验证验电笔是否完好，然后在线路、设备的A、B、C三相和中性线导体上，逐相验明确无电压。如图9-1所示是高压验电笔外形，图9-2为低压验电笔外形。

2) 不得以设备分合位置标示牌的指示、母线电压表指示零位、电源指示灯泡熄灭、电动机不转动、电磁线圈无电磁响声及变压器无响声等，作为判断设备已停电的依据。

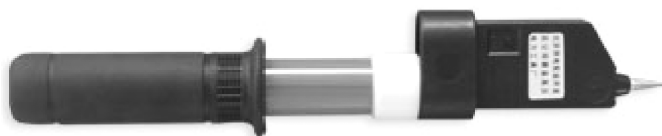


图 9-1 高压验电笔

3) 检修开关、刀开关或熔断器时，应在断口两侧验电，杆上电力线路验电时，应先验下层，后验上层；先验距人体较近的导线，后验距人体较远的导线。

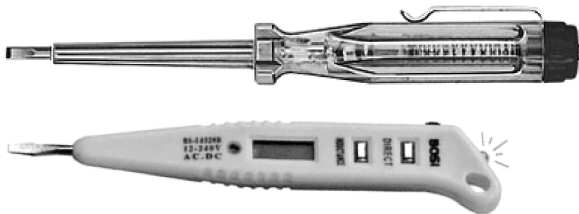


图 9-2 低压验电笔

3. 挂接地线

1) 经验明停电设备两端确无电压后，应立即在检修设备的工作点（段）两端导体上挂接地线。

为防止工作地段失去接地线保护，断开引线时，应在断开的引线两侧挂接地线。

2) 凡有可能送电到停电检修设备上的各个方面的线路（包括零线）都要挂接地线。同杆架设的多层电力线路挂接地线时，应先挂下层导线，后挂上层导线；先挂离人体较近的导线（设备），后挂离人体较远的导线（设备）。

3) 当运行线路对停电检修的线路或设备产生感应电压而又无法停电时，应在检修的线路或设备上加挂接地线。

4) 挂接地线时，必须先将地线的接地端接好，然后再在导线上挂接。拆除接地线的程序与此相反。接地线与接地极的连接要牢固可靠，不准用缠绕方式进行连接，禁止使用短路线或其他导线代替接地线。若设备处无接地网引出线时，可采用临时接地棒接地，接地棒在地面下的深度不得小于 0.6m。为了确保操作人员的人身安全，装、拆接地线时，应使用绝缘棒或戴绝缘手套，人体不得接触接地线或未接地的导体。

5) 严禁工作人员或其他人员移动已挂接好的接地线。如需移动时，必须经过工作许可人同意并在工作票上注明。

6) 接地线由一根接地段与三根或四根短路段组成。接地线必须采用多股软裸铜线，每根截面不得小于 16mm^2 。严禁使用其他导线作接地线，如图 9-3 所示接地线。

7) 由单电源供电的照明用户，在户内电气设备停电检修时，如果进户线刀开关或熔断器已断开，并

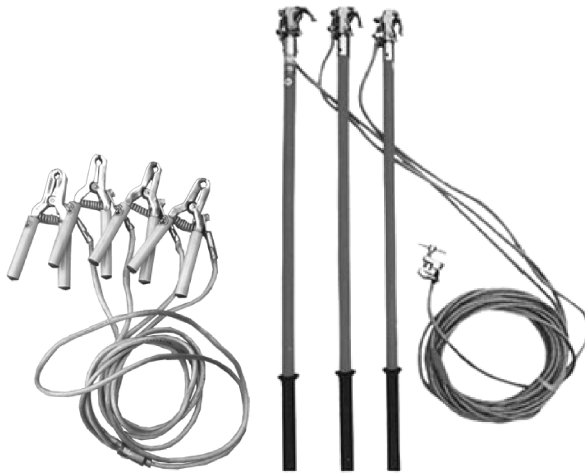


图 9-3 接地线

将配电箱门锁住，可不挂接地线。

4. 装设防护栏和悬挂标示牌

1) 在下列开关、刀开关的操作手柄上应悬挂“禁止合闸，有人工作”的标示牌：

① 一经合闸即可送电到工作地点的开关、刀开关；

② 已停用的设备，一经合闸即可起动并造成人身触电危险、设备损坏，或引起总剩余电流动作保护器动作的开关、刀开关；

③ 一经合闸会使两个电源系统并列，或引起反送电的开关、刀开关。

2) 在以下地点应挂“止步，有电危险”的标示牌：

① 运行设备周围的固定防护栏上；

② 施工地段附近带电设备的防护栏上；

③ 因电气施工禁止通过的过道防护栏上；

④ 低压设备做耐压试验的周围防护栏上。

3) 在以下邻近带电线路设备的场所，应挂“禁止攀登，有电危险”的标示牌：

① 工作人员或其他人员可能误登的电杆或配电变压器的台架；

② 距离线路或变压器较近，有可能误攀登的建筑物。

4) 装设的临时木（竹）防护栏，距低压带电部分的距离应不小于0.2m，户外安装的防护栏高度应不低于1.5m，户内应不低于1.2m。临时装设的防护栏应牢固、可靠。

5) 严禁工作人员和其他人员随意移动防护栏或取下标示牌。

图9-4 所示是常用标示牌和防护栏。

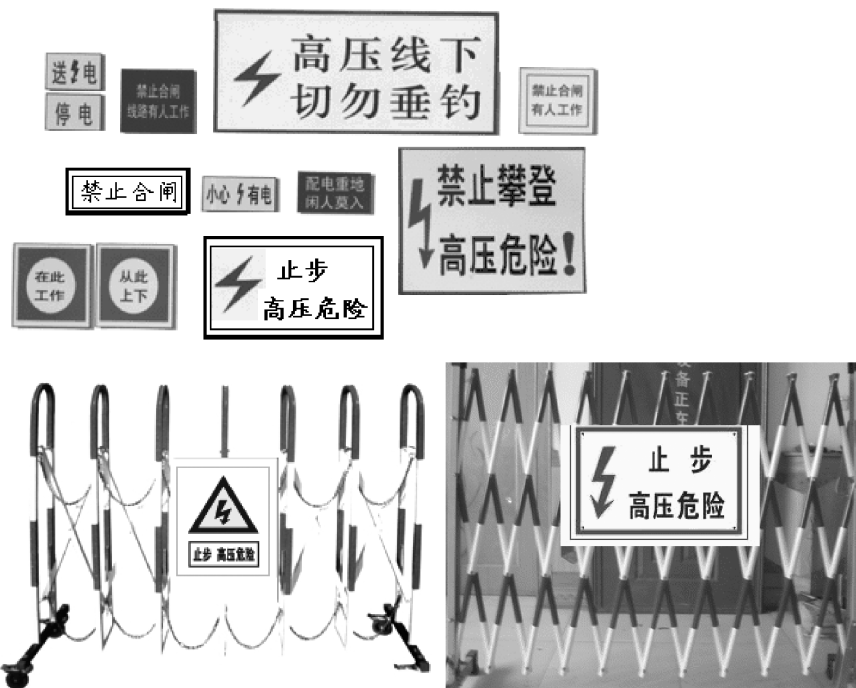


图9-4 标示牌和防护栏

9.2 电气防火防爆措施

9.2.1 发生电气火灾或爆炸的原因

电气火灾和爆炸的原因，除了设备自身缺陷或安装不当等设计、制造和使用方面的原因外，在运行中，电流的热量和电火花或电弧等都是电气火灾和爆炸的直接原因。

1. 电气设备过热

主要是电流的热效应造成。电流通过导体时，由于导体存在电阻，电流通过时就要消耗一定的能量转化为热能。这部分热能使导体温度升高，并加热其周围的其他材料。当温度超过电气设备及周围材料的允许温度时，达到起燃点就可能引发火灾或爆炸，电气设备的允许最高温度见表 9-1。

表 9-1 电气设备的允许最高温度

类 别		正常运行允许的最高温度/℃
1) 导线与塑料绝缘线		70
2) 橡皮绝缘线		65
3) 变压器上层油温		85
4) 电力电容器外壳温度		65
5) 电机定子绕组对应于采用的绝缘等级及定子铁心温度	A 级	100
	E 级	115
	B 级	110

造成电气设备过热的主要原因如下：

1) 短路：线路发生短路时，线路中电流将增加到正常工作电流的几十倍，使设备温度急剧上升，尤其是连接部分接触电阻大，如果温度到可燃物的起燃点，就会引起火灾或爆炸。

引起线路短路的原因很多，例如电气设备载流部分的绝缘损坏。这种损坏可能是设备长期运行，绝缘自然老化；或者设备本身不合格，绝缘强度不符合要求；或者是绝缘受外力损伤等引起短路事故。

还有因误操作造成弧光短路。另外由于小动物误入带电间隔造成短路，鸟禽跨越裸露的相线之间造成短路等，所以必须采取有效措施防止发生短路，发生短路后应以最快的速度切除故障部分，以保证线路安全。

2) 过载：由于导线截面积和设备选择不合理，或运行中电流超过设备的额定值，都会引起发热，以至于超过设备的长期运行温度。

3) 接触不良：导线接头连接不牢靠、活动触头（开关、熔丝、接触器、插座、灯泡与灯座等）接触不良，导致接触电阻很大，电流通过时导致接头过热。

4) 铁心过热：变压器、电动机等设备的铁心压得不紧，或铁心绝缘损坏，或长时间过电压、或运行中使铁心过饱和、或非线性负载引起高次谐波造成铁心过热。

5) 散热不良: 设备的散热通风措施遭到破坏, 设备运行中产生的热不能有效地散掉, 造成设备过热。

6) 发热量大的一些电气设备安装或使用不当, 也可能引起火灾。例如电阻炉的温度一般可达 600℃ 以上, 照明灯泡表面的温度也能达到很高的温度, 见表 9-2 所列, 也应注意防范。

表 9-2 灯泡表面温度

灯泡功率/W	60	75	100	150	200	1000 碘钨灯
灯泡表面温度/℃	137 ~ 180	130 ~ 143	148 ~ 163	146 ~ 180	155 ~ 206	800

2. 电火花和电弧

在生产和生活中是经常见到的一种现象。例如, 电气设备正常工作时或正常操作时, 会发生电火花或电弧; 交流电动机电刷与集电环滑动接触处, 在正常运行中会产生电火花; 开关断开电路时, 会产生很强的电弧; 接触器断开电路时, 也会产生电火花。电火花、电弧的温度一般很高, 特别是电弧, 温度可到 6000℃。这么高的温度一旦遇到可燃物则可能引起火灾甚至造成爆炸, 成为最为危险的火源。

3. 电气设备本身会发生燃烧和爆炸

例如, 变压器、油断路器、电力电容器、电压互感器等充油设备。

4. 违反安全操作规程

- 1) 在带电设备、变压器、油开关等附近使用喷灯;
- 2) 在火灾与爆炸危险的场所使用明火;
- 3) 在可能发生火灾的设备或场所用汽油擦拭设备等。

9.2.2 电气防火、防爆安全要求

1. 合理选择电气设备

按危险场所的类别和等级选用电气设备, 这要分两种情况:

1) 对有爆炸性危险的场所选用电气设备时, 要经过调查研究, 从实际情况出发, 根据爆炸危险场所的类别、等级和电火花形成的条件等, 选用相应的电气设备。

2) 对有火灾危险的场所选用电气设备时, 应根据场所的等级、电气设备的种类和使用条件, 选用相应的电气设备。

2. 合理选用保护装置

合理选用保护装置是防火防爆重要措施。一般情况下, 在火灾和爆炸危险场所, 除应有必要的接地接零装置外, 还应有比较完善的短路、过载等保护装置。过电流保护装置的动作电流在不影响电气设备正常工作的情况下, 其整定值应尽量小些。在 0 区、10 区爆炸危险场所内, 单相线路和工作零线均应装设短路保护装置。

对突然停电可能引起火灾或爆炸的场所, 应有两路电源供电, 并装好自动切换的连锁装置。正常运行时产生火花或电弧的防爆型电气设备, 其电气连锁装置必须可靠, 也就是电源接通时壳盖不能打开, 壳盖打开后电源则不能接通。

此外，对于正压型防爆电气设备，应装设必需的联锁装置或其他保护装置。对有条件的用电客户，还可以装设自动检测装置，如当场所内爆炸性混合物达到危险浓度时，能发出信号或报警，以便工作人员采取措施，消除危险。

3. 保持合理的防火间距

选择合理的安装位置，保持必要的防火间距，也是防火防爆的一项重要措施。

(1) 选择合理的安装位置 对于爆炸危险场所，应考虑把电气设备安装爆炸危险场所以外或爆炸危险性较小的部位。这样能比较经济地满足防爆安全要求。当场所与爆炸危险场所相邻，且其间有隔墙隔开时，该场所的防爆等级就可以降低，具体划分方法可见表 9-3。从该表中可以看出，只要与爆炸危险场所隔开，就可以选用较低等级的防爆电气设备，甚至可以选择一般的电气设备。

表 9-3 与爆炸危险场所相邻场所的防爆等级

爆炸危险场所等级	用有门的墙隔开的相邻场所的等级	
	相隔一道有门的墙	经过走廊或套间相隔两道有门的墙
0 区	划作 1 区	无爆炸和火灾危险
1 区	划作 2 区	
2 区	无爆炸和火灾危险	
10 区	划作 11 区	无爆炸危险
11 区	无爆炸危险	

注：1. 隔墙应是非燃烧的实体，门应是难燃烧的，且有密闭措施和自动关闭装置（如弹簧等），隔墙上如有窗也应是难燃的、密闭的。
2. 与 0 区、1 区、10 区场所相邻场所间，其两道隔墙上门框之间的净距离应不小于 2m。
3. 与爆炸危险场所相邻的地下场所的等级划分，应根据具体情况考虑，如送、排风系统的配置，能使相邻场所的风压高于爆炸危险场所；或采取相应措施，使爆炸性混合物不能侵入相邻场所时，可按本表划分，否则不能降低相邻场所的等级。

根据以上原则，可以把某些电气设备（特别是正常运行时发生火花的设备）安装在爆炸危险场所之外或危险程度较低的场所。例如，把电动机安装在墙外，而采用隔墙机械传动（传动轴有填料密封），又如把照明灯具安装在危险场所外面，让光线通过玻璃投射入室内等。

为了防止电火花或危险温度引起火灾，开关、插座、熔断器、电热器具、透明器、电焊设备和电动机等均应根据需要，尽量避开易燃物或易燃建筑构件。起重机滑触线下方，不应堆放易燃品。露天变、配电装置，不应设置在易于沉积可燃性粉尘或纤维的地方。10kV 及以下的变、配电所，不应设在火灾或爆炸危险场所的正上方或正下方，10kV 及以下的架空线路，严禁跨越火灾和爆炸危险场所等。

(2) 保持必要防火间距

1) 户外变、配电装置，与建筑物、堆场之间的防火间距应不小于表 9-4 的规定。

2) 10kV 及以下的变、配电所与建筑物相毗邻时，隔墙应是非燃烧体的，隔墙面数应根据场所危险程度而定。这种变、配电所的门、窗应向外开启，并通向无火灾和无爆炸危险的场所。

表 9-4 户外变、配电装置与建筑物、堆场的防火间距

建筑物、堆场名称	变压器总油量/t		
	< 10	10 ~ 50	> 50
民用建筑/m	15 ~ 25	20 ~ 30	25 ~ 35
丙、丁、戊类生产厂房和库房/m	12 ~ 20	15 ~ 25	20 ~ 30
甲、乙类生产厂房/m	25		
甲类库房/m	25 ~ 40		
稻草、麦秸、芦苇等易燃材料堆物/m	50		
易燃液体贮罐/m	25 ~ 50		
可燃液体贮罐/m	25 ~ 50		
液化石油气贮罐/m	40 ~ 90		
水槽式可燃气体贮罐/m	25 ~ 40		

- 注：1. 防火间距应从距建筑物、堆场最近的变压器外壁算起，但户外变、配电构件距堆物、贮罐和甲、乙类厂房、库房不宜小于 25m，距其他建筑物不宜小于 10m。
2. 干式可燃气体贮罐的防火间距，应按本表增加 25%。
3. 发电厂的主变压器，其油量可按单台考虑。
4. 本表内户外变、配电装置，是指电压为 35 ~ 330kV 的装置，且每台变压器容量在 5000kV · A 以上的户外变、配电所，以及工业企业户外总降压变电所的配电装置。

3) 10kV 及以下的架空线路，与火灾和爆炸危险场所接近时，其间的水平距离一般应不小于杆柱高度的 1.5 倍，以防止发生倒杆断线事故时电线甩出，产生火花和电弧引起燃烧或爆炸。在特殊情况下，采取有效措施后，允许适当减小距离。

4) 铅蓄电池室的入口最好有套间或门斗，避免一般房间与蓄电池室直接毗邻，外套间及蓄电池室的门都应向外开启。

4. 保持良好的通风

在爆炸危险场所，如有良好的通风装置，能降低爆炸性混合物的浓度，场所危险等级可以考虑降低。例如，对于气流良好的敞开式、局部敞开式建筑物和构筑物或露天区域或系气体或蒸气爆炸性混合物的场所，一般可降低一级考虑，但不应划为无爆炸危险的场所；如系粉尘或纤维爆炸性混合物的场所，一般可划为无爆炸危险的场所。又如，当装有经常运转的通风机，能保证场所有足够的换气次数，且当其中一台机组故障时，仍有必要的通风量，或能自动接入备用机组的爆炸危险场所，可降低一级考虑。

应当注意，爆炸危险场所内的事故排风用电机的控制设备，应设在事故情况下便于操作的地方。

9.2.3 电气火灾的扑救

1. 电气灭火注意事项

(1) 充油电气设备灭火时的注意事项

1) 外部着火时，允许用二氧化碳、“1211”、四氯化碳、干粉等灭火器灭火。使用四氯化碳灭火时，为了防止中毒，灭火人员应站在上风侧，室内灭火必须注意通风。当火势

较大时，必须切断电源，用水枪灭火。

2) 油箱破损、喷油燃烧、火势很大时，必须立即切断电源，同时打开放油阀，将油引入贮油池内，池内及地上的油火应用泡沫灭火器边排边灭，但不得使油流入电缆沟内。一旦流入电缆沟内必须立即堵塞沟口，并用泡沫灭火器将火熄灭。操作放油阀时，灭火器不得停止工作。

3) 充油电气设备的灭火，必须有足够的灭火器材及灭火人员。

(2) 电缆及电缆沟着火时的扑灭

电缆着火时，必须先切断电源，灭火的同时应寻查着火的原因。灭火时，允许使用水枪喷雾、二氧化碳、“1211”、干粉、沙子等。

① 电缆沟（井、隧道）内电缆着火时，必须先把着火电缆周围的电缆电源切断，然后用手提式干粉灭火器、“1211”或二氧化碳灭火器、喷雾水枪、干沙、干燥黄土等灭火。电缆灭火时，灭火人员必须戴防毒面具、戴绝缘手套、穿绝缘靴。允许将井、隧道内的防火门关闭，用窒息方法灭火。沟内电缆较少且距离很短时，可将两端井口堵住封死而窒息灭火。

② 电缆沟内火势较大，扑灭较困难时，先将电源切断，然后向沟内灌水，直到将着火点用水封住，火便自行熄灭。这时及时将水抽出，然后做干燥处理。

③ 电缆着火时在没有确认停电和放电前，严禁用手直接接触电缆外皮，更不准移动电缆。必要时，应戴绝缘手套、穿绝缘靴用绝缘拉杆操作。手套、靴、拉杆的电压等级要与电缆对应。

④ 室内电缆着火时，必须保持良好的通风，小心中毒。有通风机的建筑物，电气火灾发生后应自动启动通风机。

(3) 旋转电机时的扑灭

发电机或电动机等旋转电机着火时，为防止轴承变形，可令其慢慢转动，用喷雾水灭火，并使其均匀冷却；也可用二氧化碳、四氯化碳灭火，但不宜使用干粉、沙子、泥土灭火，以免损伤电气设备的绝缘。

2. 常用灭火器的主要性能及使用方法

常用灭火器的主要性能见表 9-5。

(1) 二氧化碳灭火器的使用方法

- 1) 用右手提着灭火器的压把，迅速靠近起火现场；
- 2) 除掉灭火器的铅封，如图 9-5 所示；
- 3) 站在距火焰 3m 左右的距离，左手拿着喇叭筒，右手用力压下压把，对这火焰根部喷射，并不断推进，直至把火喷灭，如图 9-6 所示。

(2) 干粉灭火器的使用

- 1) 用右手提着灭火器的压把，迅速靠近起火现场；
- 2) 除掉灭火器的铅封，如图 9-7 所示；
- 3) 左手握着喷管，右手提着压把，在距离火焰 2m 的地方，右手用力压下压把，左手拿着喷管左右摆动，喷射干粉覆盖整个燃烧区，如图 9-8 所示。

表 9-5 灭火器的主要性能

种类	二氧化碳灭火器 	干粉灭火器 	泡沫灭火器 
药剂	瓶内装有压缩成液态的二氧化碳	钢筒内装有钾盐或钠盐干粉,并备有盛装压缩气体的小钢瓶	筒内装有碳酸氢钠、发泡剂和铝酸铝液体
用途	不导电 扑救电气设备、精密仪器、油类和酸类火灾,不能扑救钾钠镁铝等物质形成的火灾	不导电 可扑救电气设备火灾,但不宜扑救旋转电机火灾,可扑救石油产品、油漆、有机溶剂、天然气和天然气设备火灾	扑救油类或其他易燃液体火灾,不能扑救忌水和带电物体火灾
效能	接近着火点,保持 3m 距离	8kg 喷射时间 14 ~ 18s,射程 4.5m;50kg 喷射时间 50 ~ 55s,射程 6 ~ 8m	10L 喷射时间 60s,射程 8m;65L 喷射时间 170s,射程 13.5m
使用方法	一手拿好喇叭筒对着火源;另一手打开开关就可	提起圆环,干粉即可喷出	倒过来稍加摇动或打开开关,药剂就喷出
保养和检查方法	保养: 1) 置于取用方便的地方 2) 注意使用期限 3) 防止喷嘴堵塞 4) 冬季防冻,夏季防晒 检查: 每月检查一次,重量减少 1/10 时应充气	置于干燥通风处,防受潮、日晒,每月检查一次干粉是否受潮或结块小钢瓶内的气压压力,每半年检查一次,如重量减少 1/10 应换气	一年检查一次,泡沫发生倍数低于本身体积 4 倍时,应换药



图 9-5 拔掉灭火器的铅封

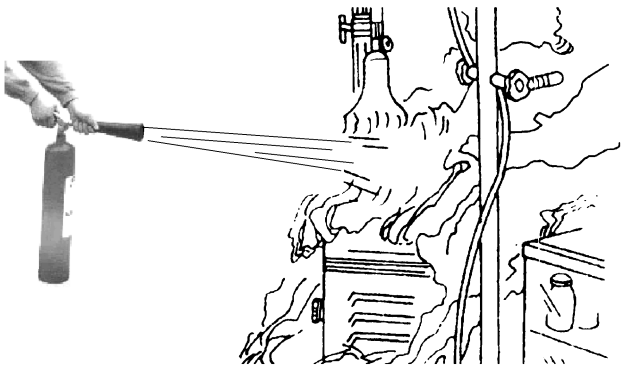


图 9-6 二氧化碳灭火

(3) 泡沫灭火器的使用

1) 用右手提着灭火器的压把，迅速靠近起火现场。



图 9-7 干粉灭火器的使用



图 9-8 泡沫灭火器的使用

- 2) 右手捂住喷嘴, 左手执筒底边缘, 把灭火器颠倒过来呈垂直状态, 用力上下晃动几下, 然后站在距离燃烧区大约八米的地方, 放开喷嘴喷射, 并不断前进, 围着火焰喷射, 直至将火扑灭。
- 3) 灭火后, 把灭火器卧放在地上, 喷嘴朝下。

9.3 漏电接地保护

关于我国交流三相低压 (380V/220V) 供电系统的供电方式:

1) 三相四线供电方式 (TN-C 型)。以前, 我国工厂住宅普遍采用这种供电方式, 其接线图如图 9-9 所示。

这种供电方式最大的优点是经济, 省钱。只需要 4 根导线供电。

2) 三相五线供电方式 (TN-S 型)。目前, 我国办公楼, 商厦和很多住宅, 工厂, 大多采用这种供电方式, 其接线图如图 9-10 所示。

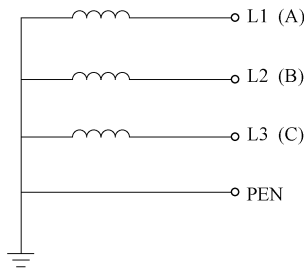


图 9-9 三相四线 (TN-C 型)

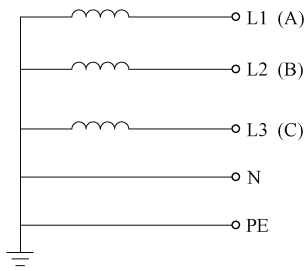


图 9-10 三相五线 (TN-S 型)

这种供电方式安全, 可靠, 是今后低压供电的发展方向。会被愈来愈广泛地采用。

3) 三相四线/五线混合供电方式 (TN-C-S 型)。它是一种过渡型的低压供电方式。目前, 我国工厂和很多住宅, 采用这种供电方式, 其接线图如图 9-11 所示。

这种供电方式的安全, 可靠性, 比 TN-C 型好, 比 TN-S 型差。

注意: 在这种供电方式中, PE 线与 N 线分开后, 不可以再次相连接。

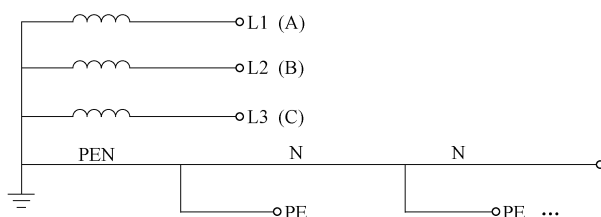


图 9-11 三相四线/五线混合 (TN-C-S 型)

9.4 触电急救

9.4.1 人体触电后的表现

人体触电后的表现主要有以下几点:

(1) **假死** 所谓假死就是触电者失去知觉、面色苍白、瞳孔放大、脉搏和呼吸停止。假死可分为三种类型:心脏停止,尚能呼吸;呼吸停止,心跳尚存,但脉搏很微弱;心跳、呼吸均停止。

由于触电时心跳和呼吸时突然停止的,虽然中断了供血供氧,但人体的某些器官还存在微弱活动,有些组织的细胞的新陈代谢还能进行,加之一般体内重要器官并未损伤,只要及时进行抢救,触电者极有被救活的可能。

(2) **局部电灼伤** 触电者神志清醒,电灼伤常位于电流进出人体的接触处,进口的伤口常为一个,出口处的伤口有时不止一个,电灼伤的面积较小,但较深,有时深达骨骼,大多为三度灼伤。灼伤处是焦黄色或褐黑色,伤面与正常皮肤有明显的界线。

(3) **轻微伤害** 触电者神志清醒,只是有些心慌、四肢发麻、全身无力、一度昏迷,但未失去知觉,出冷汗或恶心呕吐等。

9.4.2 使触电者脱离电源的方法

发现有人触电时,不要惊慌失措,应赶快使触电者脱离电源,这样才能进一步施行急救的其他措施。应当注意,在脱离电源过程中,救护人员既要救人,也要注意保护自己。触电者未脱离电源前,救护人员不准直接用手触及伤员。

1. 低压触电时脱离电源的方法

1) **拉闸停电**:如果刀开关或插头就在附近,应迅速拉下开关或拔掉插头,以切断电源,如图 9-12 所示。但应注意,如果触电者接触灯线触电,不能认为拉开拉线开关就算停电了,因为拉线开关有可能是错接在零线上的,虽然拉开了拉线开关,但导线仍然有电,所以应在顺手拉开拉线开关后,在迅速拉开附近的刀开关或熔断器,才比较安全。

2) 如果开关或插头距触电的距离很远,不能很快把停电电源,可用带绝缘手柄的电工钳、有干燥木柄的斧头、刀、锄头等利器把电线切断,一定要注意切断的电线不能再伤到旁人。

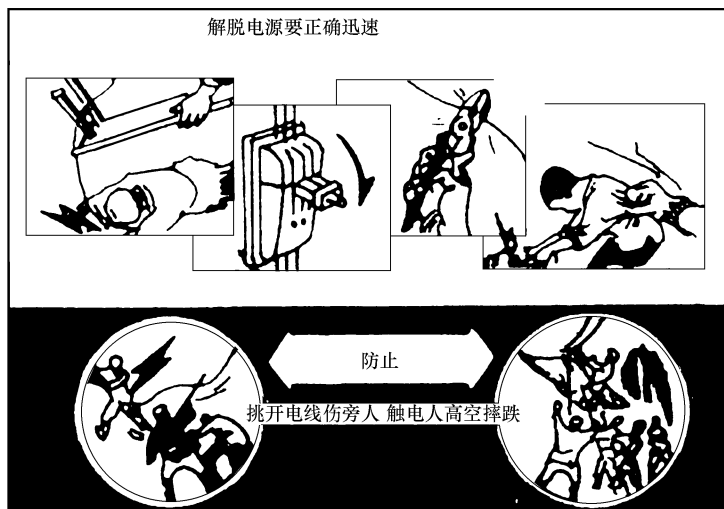


图 9-12 迅速断开电源的方法

3) 当导线断落在触电人身上或压在身下时, 可用干燥的木棒、竹竿、木板、木凳等物以免救护人自己触电, 迅速地将电线挑开; 但千万注意, 不能用铁棒等金属物或潮湿的东西去挑电线, 也不可将电线挑落在其他人身上。

4) 如果抢救时, 身边什么工具也没有, 这时若触电者的衣服是干燥的, 而且也没有紧缠在身上, 抢救人可用一只手 (不可用两只手) 厚厚的包上绝缘的物品, 如干燥的毛衣、围巾等, 拉触电人的衣服, 使之脱离电源, 注意不要触及触电人的皮肤, 也不可拉触电人的脚。

进行触电急救时, 还必须防护自己和在场人员误触电及加重触电人的外伤。如果有人在高处触电, 必须采取防护措施, 防止触电人从高处摔下来。

2. 高压触电时解脱电源的方法

1) 若在高压电气设备或高压线路上触电, 为使触电者脱离电源, 应尽量通知有关部门停电, 或用适合该电压等级的绝缘工具 (如戴绝缘手套、穿绝缘靴并用绝缘棒) 解脱触电者; 救护人员在抢救过程中, 应注意自身与周围带电部分留有足够的安全距离。

2) 触电者在高压带电线路触电, 又不能迅速切断电源的, 可采用抛挂足够截面积的适当长度金属短线的方法, 使电源开关跳闸; 抛挂前, 将短路线一端固定在临时接地端上, 另一端系重物; 但抛挂短路线时, 应注意防止电弧伤人或断线危及人员安全。

3) 如果触电人触及断落在地上的带电高压导线, 且尚未验证线路无电, 救护人员在未做好安全措施 (如穿绝缘靴或临时双脚并紧跳跃接近触电者) 前, 不能接近断线点 8 ~ 10m 范围内, 以防止跨步电压伤人; 触电者脱离带电导线后也被迅速带至 8 ~ 10m 以外后立即进行急救; 只有在确定线路已经无电, 才可在触电者离开触电导线后, 立即进行急救。

9.4.3 救治触电者的方法

1. 对触电者的伤害情况进行判断

触电者脱离电源后, 首先用看、听、试的方法, 迅速检查呼吸、心跳是否停止, 瞳孔

是否放大，如图 9-13 所示。

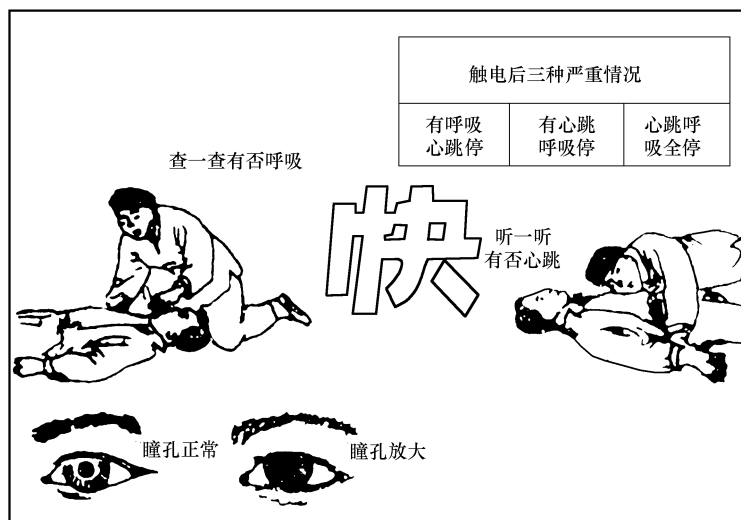


图 9-13 迅速检查症状

看就是看伤员的胸部、腹部有无起伏动作；听就是用耳贴近伤员的口鼻处，听有无呼吸声音；试就是试测伤员口鼻处有无气流。再用两手指轻轻试一侧（左或右）喉结旁凹陷处的静动脉有无搏动。

根据上述看、听、试的结果，决定采用何种急救方法：

1) 如果触电人的伤害并不严重，神志还清醒，只是有一些心慌、四肢发麻、全身无力或者曾一度昏迷，但很快恢复知觉，则不需要做人工呼吸和胸外按压，应让其就地安静的躺下来，休息 1~2h，并注意观察；在观察过程中，如发现触电者呼吸和心跳很不规则甚至接近停止，应赶快抢救。

2) 如果触电人的伤害情况较严重，无呼吸、无知觉，但心跳有跳动时，应采用口对口（鼻）人工呼吸；如触电者虽然有呼吸，但心跳已停止时，则应采用胸外按压的方法进行抢救。

3) 如果触电人的伤害很严重，无知觉，心脏跳动和呼吸都已停止时，则需同时采用口对口人工呼吸和胸外按压两种方法进行抢救。

触电急救应就地进行，中间不能停顿。如果触电者电伤严重，非送医院不可，在途中也不能对其停止抢救。

在触电急救中，不能用土埋、泼水和压木板等错误方法抢救，避免使触电者加快死亡。

2. 心肺复苏法

触电伤员的呼吸和心跳均已停止时，应立即按心肺复苏法支持生命的三项基本措施，正确进行就地抢救。三项基本措施是：

- 1) 通畅气道；
- 2) 口对口（鼻）人工呼吸；

3) 胸外按压（人工循环）。

(1) **通畅气道** 触电伤员的呼吸停止，重要的应始终确保气道通畅。如发现伤员口内有异物，可将其身体及头部同时侧转，并迅速用一个手指或用两手指交叉从口角处插入，取出异物。操作中要注意防止将异物推到咽喉深处。

通畅气道常用仰头抬颌法，如图 9-14 所示。用一只手放在触电者前额，另一只手的手指将其下颌骨向上抬起，两手协同将头部推向后仰，舌根随之抬起，气道即可畅通，严禁用枕头或其他物品垫在伤员头上，头部一旦太高前倾，会加重气道的堵塞，且使胸外按压时心脏流向脑部的血流减少，甚至消失。

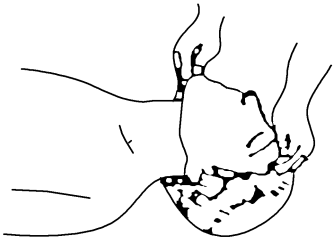


图 9-14 仰头抬颌法

(2) **口对口（鼻）人工呼吸** 人工呼吸的方法有多种，主要目的是为了采用人工机械作用，促使肺部扩张和收缩，以达到气体交换的目的。口对口人工呼吸简单易学，效果好，是目前最常用的有效方法，具体操作步骤如下：

1) 保持呼吸道气流畅通，清除口内的呕吐物、假牙等异物，如图 9-15a 所示。

2) 救护人在触电者头部的左边或右边，用一只手捏紧触电者的鼻孔（不要漏气），另一只手将其下颌拉向前下方（或托住其后颈），使嘴巴张开（嘴上可盖上一层纱布或薄布），准备接受吹气，如图 9-15b 所示。

3) 救护人做深吸气后，紧贴触电人的嘴巴向他大口吹气，同时观察其胸部有否膨胀，以决定吹气是否有效和是否适度，如图 9-15c 所示；每次吹气以使触电者的胸部微微鼓起为宜。

4) 救护人吹气完毕换气时，应立即离开触电人的嘴巴，并放松紧捏的鼻，让他自动呼吸（排气）如图 9-15d 所示。



图 9-15 口对口人工呼吸法

5) 抢救开始时,先连续大口吹气两次,每次 $1\sim 1.5\text{s}$,然后吹气速度应均匀,一般以每 5s 重复一次(吹气 2s ,呼气 3s)吹气时如有较大阻力,可能是头部后仰不够,应及时纠正;抢救过程中,应每隔几分钟观察一下触电者呼吸是否已经恢复;如触电者已开始自主呼吸时,还应观察呼吸是否会再度停止,如果停止,应再继续进行口对口呼吸,但这时,口对口呼吸要与触电者微弱的自主呼吸规律一致。

口对口人工呼吸应不间断进行,抢救时,如果触电者牙关紧闭,可采用口对鼻吹气,方法与口对口基本相同。此时,可将触电者嘴唇紧闭,抢救者对其鼻孔吹气。吹气时压力应稍大,时间也应稍长,以利于气体进入触电者肺内。

(3) **胸外按压** 胸外心脏按压时用人工方法在胸外挤压触电者心脏,代替心脏的自然收缩和舒张,从而达到重新产生血液循环的目的,使触电者恢复心脏跳动。此方法不需任何设备,只要通过学习和联系就能掌握,具体操作步骤如下:

1) 使触电者仰面躺在平硬的地面上,救护人员站在或跪在伤员另一侧肩旁,两肩位于伤员胸骨正上方,两臂伸直,肘关节固定不屈,两手掌根相叠,手指翘起,不接触伤员胸臂如图9-16所示。

2) 正确的按压位置是保证心脏按压效果的前提,确定正确按压位置的方法时用右手食指和中指沿触电者肋弓移至胸骨下的切迹;两手指并齐,中指放在切迹中点(剑突底部),食指平放在触电者胸骨下部,另一只手的掌根紧挨食指上缘,置于触电者胸骨上,这就是正确的按压位置,如图9-17所示。



图9-16 胸外按压时的手势

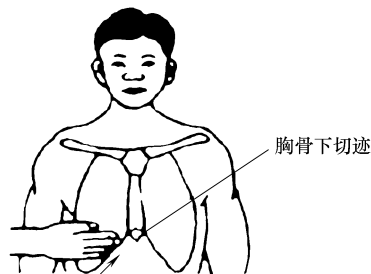


图9-17 寻找正确的按压部位

3) 救护人以髋关节为支点,利用上身的重力,垂直将触电者压区处的胸骨压 $4\sim 5\text{cm}$ (儿童及瘦弱者酌减),以压出心脏里的血液;下压至规定深度后,迅速放松,使胸部利用其弹性恢复原状,心脏舒张,以便血液回流到心脏,如图9-18所示。

4) 胸外心脏按压要以均匀的速度进行,每分钟80次左右,每次按压和放松的时间应相等;按压必须有效,有效的标志是按压过程中可以触及颈动脉的波动。

应当指出,人的心脏跳动和呼吸是相互联

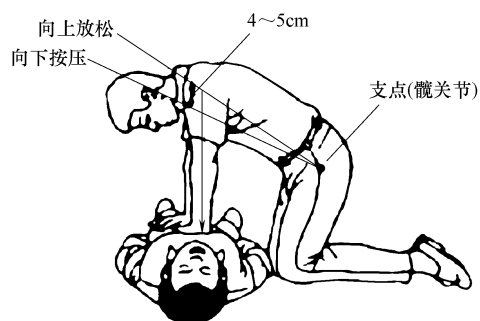


图9-18 胸外按压

系的，心脏跳动停止，呼吸很快就会停止；呼吸停止，心脏跳动也为出不了多久。一旦呼吸和心跳都停止，应当同时进行口对口呼吸和胸外心脏按压。其节奏若为单人抢救时，每按压 15 次后吹气两次（15:2），反复进行；双人抢救时，每按压 5 次后由另一人吹气一次（5:1），反复进行。

对触电者实施口对口人工呼吸和胸外按压时，抢救要坚持不断，且不可轻率终止。在送往医院的途中也不能停止抢救。抢救过程中，如发现触电者皮肤由紫变红，瞳孔由大变小，则说明抢救已收到了效果。如果发现触电者嘴唇稍有开合或眼皮活动，或喉咙间有咽东西的动作，则应注意触电者是否有自动心跳和呼吸，在正常的抢救过程中，当按压、吹气 1min 后，应用看、听、试的方法在 5~7s 时间内完成对伤员呼吸和心脏是否恢复的再判断。但心脏、呼吸恢复的早期有可能再次骤停，应严密监护，要随时准备再次抢救。

在抢救伤员的过程中，对触电者打“强心针”，应持慎重态度，如没有可靠的诊断设备条件和足够的把握，不得乱用。

3. 营救杆上或高处触电者的方法

1) 发现杆上或高处有人触电，应争取时间并及早在杆上或高处进行急救。救护人员登高时应随身携带必要的工具及牢固的绳索等，当一人进行急救时应紧急呼救，以便引起他人的注意而得到更多人的帮助。

2) 救护人员在使触电者与电源脱离时，必须有防止触电者摔落的措施，同时应有防止自己触电的措施。当确认触电者已与电源脱离，且救护人员本身处于环境安全距离内且无危险电源时，方能接触触电者进行抢救，这时仍应有防止触电者高空坠落可能性的措施。

3) 触电者脱离电源后，应将伤员扶卧在自己的安全带上或可利用的地方躺平，并注意保证伤员气道通畅。

4) 救护人员迅速判定反应、呼吸和循环情况。如果呼吸停止，立即口对口（鼻）吹气 2 次，再测试颈动脉，如有搏动，则每 5s 钟继续吹气一次；如无颈动脉搏动，可用空心拳头叩击心前区 2 次，促使心脏复跳。

5) 高处发生触电，为使抢救更为有效，应及早设法将触电者送到地面。在完成上述措施后，应立即用绳索将其送到地面，或送到附近的平地上，以便更好地急救，如图 9-19 所示。

6) 将触电者由高处送至地面前，应再口对口（鼻）吹气 4 次，到达地面后立即继续进行人工呼吸及胸外心脏按压，直至将其救活。有关具体急救方法，可参照上述各条。

4. 移动触电者的方法

1) 人工呼吸及胸外心脏按压应在现场进行，不得为了方便而随意移动触电者，如确有移动的必要时，抢救中断时间不得超过 30s。

2) 移动触电者或将其送往医院时，应使触电者平躺在担架上并在其背部垫以平整、坚硬宽阔的木板，不得采用双人直接抬运的方法，如图 9-20 ~ 图 9-22 所示。

3) 在移动或送往医院途中，直到医院后医生未接替救治前均不能终止急救。

4) 在急救中，应创造条件，用塑料袋装入砸碎冰屑成帽状包裹在触电者头部，露出眼睛，使胸部温度降低，为恢复呼吸及心跳创造条件。

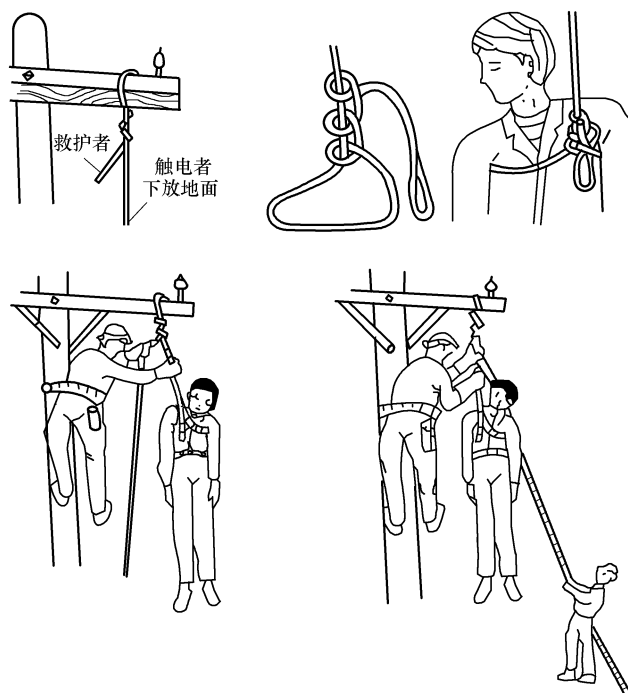


图 9-19 高处营救触电者的方法

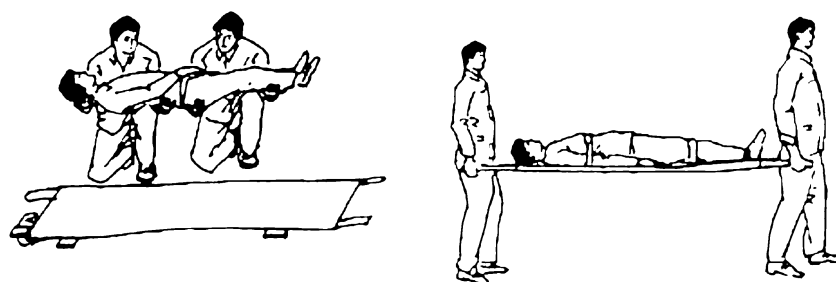


图 9-20 触电者要平躺在担架上

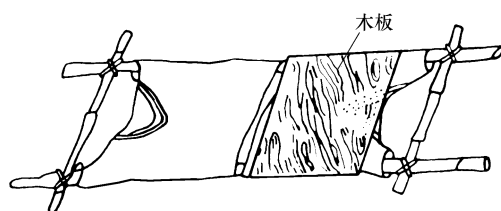


图 9-21 临时担架



图 9-22 错误的运送方法

电工电子名家畅销书系

书 名	作者 (主编)
图解电工口诀	才家刚
图解电工基础	郎永强
图解电工技能入门	杨清德
图解维修电工技能一点通	黄海平
图解家装电工技能一点通	周志敏
图解当代电工室内电气配线与布线一点通	流 耘
图解电动机使用入门与技巧	孙克军
图解低压电工上岗跟我学 (双色版)	秦钟全
双色图解电工识图入门	郑凤翼
双色图解万用表检测电子元器件	韩雪涛
双色图解电子元器件核心知识与选用	胡 斌
图解电子电路一点通	姜有根
图解万用表使用从入门到精通	孙立群
图解LED应用从入门到精通	刘祖明
图解小家电维修从入门到精通	阳鸿钧
图解液晶彩色电视机检修从入门到精通	杨成伟
图解液晶彩电开关电源维修技能快训	张新德
图解电动自行车/三轮车维修从入门到精通	刘遂俊
全彩图解空调器维修从入门到精通	李志锋
图解PLC技术问答	张运刚
图解变频器技术问答	咸庆信
图解PLC技术一点通	李长军
图解数控技术一点通	李方园
图解变频器使用与电路检修	蔡杏山
电工电子实用电路365例	王兰君
简明实用电工查算手册	方大千
常见电气故障排除技术技能手册	白玉岷

地址：北京市百万庄大街22号

邮政编码：100037

电话服务

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工微博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版



机械工业出版社微信服务号

上架指导 工业技术 / 电工技术

ISBN 978-7-111-49617-5

策划编辑◎付承桂

ISBN 978-7-111-49617-5



9 787111 496175 >

定价：39.90元